

**Studijní program B2341 - Strojírenství**

**Studijní obor: 2302R022 Stroje a zařízení**

**Zaměření: Sklářské stroje**

## **Zařízení pro intenzivní míchání skloviny v malé pánvové peci**

(Equipment for Intensive Glass Melt Stirring in a Small Pot Furnace)

**KSR**

**Tomáš STLOUKAL**

**Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ivo Matoušek, Ph.D.**

**Konzultant bakalářské práce: Ing. Lukáš Voltr**

**Rozsah bakalářské práce:**

<b>Počet stran:</b>	<b>51</b>
<b>Počet tabulek:</b>	<b>4</b>
<b>Počet obrázků:</b>	<b>21</b>
<b>Počet výkresů:</b>	<b>49</b>
<b>Počet grafů:</b>	<b>1</b>
<b>Počet modelů:</b>	<b>0</b>

**Datum odevzdání: 25. 5. 2012**



**Téma:**

Zařízení pro intenzivní míchání skloviny v malé pánvové peci

**Anotace:**

Předkládaná bakalářská práce se zabývá řešením a konstrukcí zařízení pro intenzivní míchání skloviny v novém typu malé pánvové pece. Návrh konstrukčního řešení vychází z dlouholetých osobních zkušeností s provozem pánvových pecí a jsou v něm promítnuty poznatky a trendy získané během bakalářského studia. Práce shrnuje výsledky rešerše používaných řešení a popisuje výsledky výpočtů a experimentů nutných pro konstrukci homogenizačního zařízení. Jsou předloženy návrhy variant koncepčního řešení homogenizačního zařízení a v závěru práce je podrobně rozpracován vybraný koncept řešení. Jeho aplikací dojde k výraznému zvýšení homogenity skloviny v malé pánvové peci.

**Klíčová slova:**

míchání skloviny, homogenizace skloviny, pánvová pec,

**Theme:**

Equipment for Intensive Glass Melt Stirring in a Small Pot Furnace

**Annotation:**

The bachelor work deals with the design and construction of an equipment for an intensive glass melt stirring in a new type of a small pot furnace. The design and construction is based on a long-time personal experience with pot furnaces operations. Knowledge and development trends gained during my bachelor studies are included. The submitted work gives a summary of literal research dealing with used solutions and describes calculation and experimental results necessary for designing a homogenization equipment. Different solutions of the homogenization equipment are presented and a chosen design is worked out in details. A remarkable increase of the glass melt homogeneity in a small pot furnace can be achieved using this design.

**Key words:**

glass melt stirring, glass homogenization, pot furnace



## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 23.05.2012

Podpis



## Poděkování

Děkuji panu **Ing. Ivo Matouškovi**, Ph.D., za odborné vedení, cenné připomínky, vstřícnost a trpělivost při řešení této bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval panu **doc. Ing. Františku Novotnému, CSc.**, panu **Ing. Vlastimilu Hotařovi, Ph.D.** a panu **Ing. Lukáši Voltrovi** za poskytnuté informace, ochotu a inspirativní návrhy související s řešením této bakalářské práce.

Tomáš Stloukal



Obsah:

Anotace .....	2
Prohlášení.....	3
Poděkování .....	4
Seznam zkratk a symbolů .....	7
Úvod: .....	7
<b>1. Možnosti a předpoklady řešení .....</b>	<b>10</b>
1.1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU TECHNIKY .....	10
1.1.1 Malý tavicí agregát .....	10
1.1.2 Popis konstrukce MTA.....	10
1.1.3 Systém otopu.....	13
1.1.4 Zakládání vsázky .....	13
1.1.5 Homogenizace skloviny.....	13
1.1.6 Tavení - rozsah tavených barevných skel .....	13
1.1.7 Tvarování výlisků .....	14
1.1.8 Následné operace.....	15
1.1.9 Homogenita utavené skloviny.....	15
1.1.10 Zdroje šlíovitosti v MTA.....	16
1.1.11 Shrnutí nedostatků současného stavu .....	17
1.2 LITERÁRNÍ A PATENTOVÁ REŠERŠE .....	18
1.2.1 Homogenizace využívající fyzikální principy. ....	18
1.2.2 Homogenizace využívající proudění v důsledku výronu plynů .....	19
1.2.3 Mechanické míchání skloviny.....	19
1.2.4 Závěry vyplývající z rešerše současných používaných řešení .....	21
1.3 OČEKÁVANÉ CÍLE ŘEŠENÍ .....	22
<b>2. Návrh alternativních řešení homogenizace.....</b>	<b>23</b>
2.1 ÚPRAVA STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE MTA .....	23
2.2 NÁVRH MÍCHADLA .....	24
2.2.1 Popis modelovacího zařízení .....	24
2.2.2 Tvar lopatek míchadla.....	25
2.2.3 Počet lopatek míchadla.....	26
2.2.4 Návrh tvaru míchadla .....	26
2.3 OKOLNÍ TEPLOTA .....	28
2.4 VÝPOČTY POTŘEBNÉ PRO NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ.....	29
2.4.1 Výpočet výkonu míchadla a krouticího momentu vyvolaného odporem skloviny při jeho rotaci .....	29



2.5	NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ.....	31
2.5.1	<i>Varianta A</i> .....	31
2.5.2	<i>Varianta B</i> .....	32
2.5.3	<i>Varianta C</i> .....	33
2.5.4	<i>Varianta D</i> .....	34
2.6	ROZHODOVACÍ ANALÝZA – VÝBĚR VARIANTY PRO KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ .....	35
<b>3.</b>	<b><i>Konstrukční řešení zvolené varianty</i> .....</b>	<b>38</b>
3.1	NÁVRH POHONU PRO HOMOGENIZAČNÍ ZAŘÍZENÍ .....	39
3.2	NÁVRH ŘETĚZOVÉHO PŘEVODU .....	41
3.2.1	<i>Návrh řetězu</i> .....	41
3.3	NÁVRH A VÝPOČET A LOŽISEK .....	44
3.3.1	<i>Návrh a uložení ložisek</i> .....	44
3.3.2	<i>Výpočet ložisek</i> .....	45
3.4	NÁVRH UCHYCENÍ MÍCHADLA .....	46
3.4.1	<i>Výpočet kolíku zatíženého krouticím momentem</i> .....	46
<b>4.</b>	<b><i>Závěry a zhodnocení využitelnosti</i> .....</b>	<b>48</b>
4.1.1	<i>Zhodnocení technických a ekonomických přínosů řešení</i> .....	48
4.1.2	<i>Závěry řešení</i> .....	48
	<i>Seznam použité literatury:</i> .....	49
	<i>Seznam výkresové dokumentace:</i> .....	50



## Seznam zkratk a symbolů

A1 – A6	[-]	podobnostní kritéria
a	[mm]	rozteč hřidelů
C	[N]	dynamická únosnost ložiska
C <sub>0</sub>	[N]	statická únosnost ložiska
d	[mm]	průměr
d <sub>1</sub>	[mm]	roztečný průměr hnacího řetězového kola
d <sub>2</sub>	[mm]	roztečný průměr hnaného řetězového kola
f	[Hz]	frekvence
F <sub>a</sub>	[N]	axiální síla
F <sub>r</sub>	[N]	radiální síla
F <sub>p</sub>	[N]	síla při přetržení řetězu
F <sub>0</sub>	[N]	obvodová síla
ρ	[kg.m <sup>3</sup> ]	specifická hmotnost
g	[m.s <sup>-2</sup> ]	tíhové zrychlení
i	[-]	převodový poměr
j	[ks]	počet článků řetězu
k	[-]	koeficient bezpečnosti
k <sub>s</sub>	[-]	koeficient statické bezpečnosti
k <sub>d</sub>	[-]	koeficient dynamické bezpečnosti
l	[mm]	délka
L <sub>Hz</sub>	[h]	trvanlivost ložiska
m	[kg]	hmotnost
M <sub>k</sub>	[N.m]	krouticí moment
n	[ot.min <sup>-1</sup> ]	otáčky
n <sub>m</sub>	[ot.min <sup>-1</sup> ]	otáčky míchadla
p	[mm]	rozteč článků řetězu
P	[W]	výkon
P <sub>0</sub>	[W]	příkonové kritérium
P <sub>D</sub>	[W]	diagramový výkon
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
T	[°C]	teplota
v	[m.s <sup>-1</sup> ]	rychlost
Y	[-]	koeficient rázu
z <sub>1</sub>	[ks]	počet zubů hnacího kola
z <sub>2</sub>	[ks]	počet zubů hnaného kola
χ	[-]	koeficient výkonu
η	[Pa.s]	dynamická viskozita



$\varphi$	[-]	koeficient provedení řetězu
$\pi$	[-]	Ludolfovo číslo
$\mu$	[-]	exponent rovnice trvanlivosti ložiska
$\tau$	[min]	čas homogenizace
$\tau_k$	[Pa]	napětí v krutu
$\tau_s$	[Pa]	napětí ve smyku
$\omega$	[rad.s <sup>-1</sup> ]	úhlová rychlost





## Úvod:

V Preciose, a.s. byl vytvořen prototyp malého tavicího agregátu, u kterého je požadováno nahrazení stávajícího manuálního způsobu homogenizace skloviny intenzivním způsobem míchání, které povede k významnému zvýšení výtěžnosti produkované skleněné suroviny. Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na nalezení vhodného řešení homogenizačního zařízení a na konstrukci tohoto zařízení pro intenzivní homogenizaci skloviny v malém tavicím pánvovém agregátu. Práce je rozdělena do čtyř kapitol, které jsou věnovány jednotlivým bodům zadání.

První kapitola je věnována popisu stávajícího stavu techniky, identifikaci problému a jeho příčin a patentové a literární rešerši používaných metod řešení. Jsou zde rozebrány jednotlivé technologické postupy, využívané při výrobě skleněné suroviny pro strojně broušené kameny a perle a je popsán tavicí agregát. V druhé části kapitoly jsou analyzovány jednotlivé metody homogenizace, tak jak jsou zmíněny v dostupných zdrojích. V závěru kapitoly jsou uvedeny technické požadavky pro návrh homogenizačního zařízení.

V druhé kapitole je rozpracován princip strojního míchání vrtulovým míchadlem v obecné rovině. Je zde proveden výpočet rozhodných parametrů pro řešení, jsou popsány a vyhodnoceny realizované modelové zkoušky a navržena vhodná konstrukce míchadla. V závěru jsou navrženy varianty řešení a pomocí rozhodovací analýzy je vybrána optimální varianta homogenizačního zařízení.

V kapitole třetí je rozpracováno konstrukční řešení zvolené varianty. Je navrženo a zkonstruováno homogenizační zařízení pro strojní míchání skloviny, včetně keramického míchadla a pohonné jednotky. Navržená varianta je zpracována formou kompletní výkresové dokumentace, která tvoří přílohu této práce.

Ve čtvrté kapitole jsou vyhodnoceny přínosy a využitelnost navrženého homogenizačního zařízení.



## 1. Možnosti a předpoklady řešení

V této kapitole je na základě literární a patentové rešerše proveden rozbor možností homogenizace skloviny v pánvové peci. V úvodu kapitoly je pak uveden popis a rozbor výchozího stavu techniky, v závěru jsou specifikovány předpokládané cíle řešení.

### 1.1 Analýza současného stavu techniky

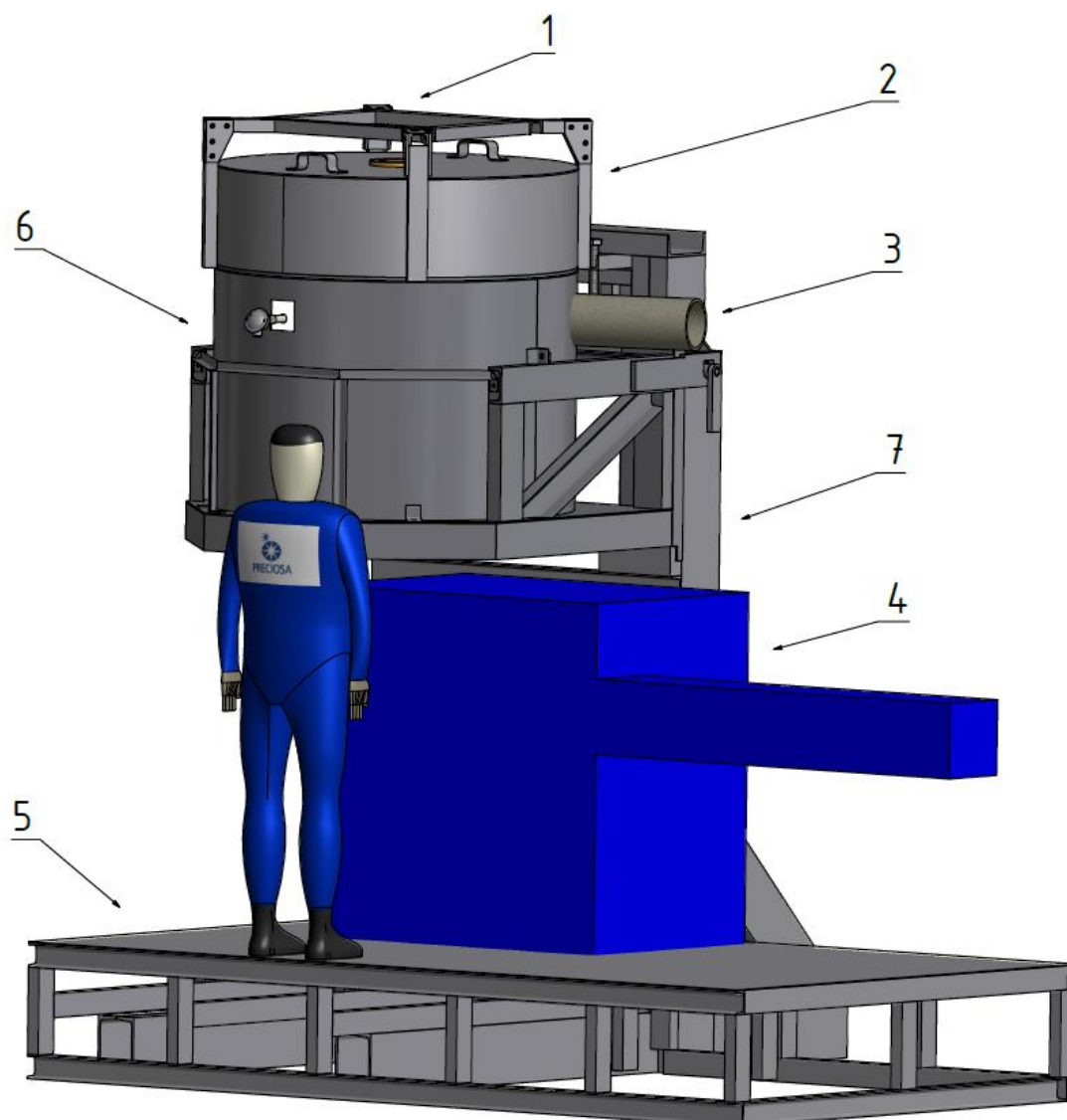
PRECIOSA,a.s. je předním světovým producentem broušeného křišťálu a soustředí se především na výrobu strojně broušených šatonů, perlí a jiných bižuterních komponentů v širokém sortimentu tvarů, velikostí a barev. Součástí firmy je i hutní základna, která se věnuje výrobě suroviny pro strojně broušené kamny a perle.

#### 1.1.1 *Malý tavicí agregát*

V Preciose byl v průběhu roku 2011 v rámci úkolu technického rozvoje vytvořen prototyp tavicího pánvového agregátu pod názvem „Malý tavicí agregát“ (dále jen MTA). Zadáním úkolu bylo vyvinout malokapacitní zdroj skloviny pro tavení cca. 150 kg skla, který by přibližoval ekonomikou provozu velké pánvové peci a splňoval specifické požadavky na flexibilitu a kvalitu utavené skloviny. Bylo vytvořeno několik koncepčních návrhů tavicího agregátu, z nichž byl po provedení rozhodovací analýzy vybrán návrh otopu pomocí spalování směsi plynu a přehřátého vzduchu přímo v prostoru sklářské pánve. Hlavními kritérii výběru tohoto řešení byly jeho jednoduchost, konstrukční náklady a především nízké provozní náklady. Na základě předložených návrhů byla vedením firmy odsouhlasena realizace modelu MTA. Ten byl po objednání a dodání potřebných materiálů postaven, nateperován a byla spuštěna výrobní kampaň.

#### 1.1.2 *Popis konstrukce MTA*

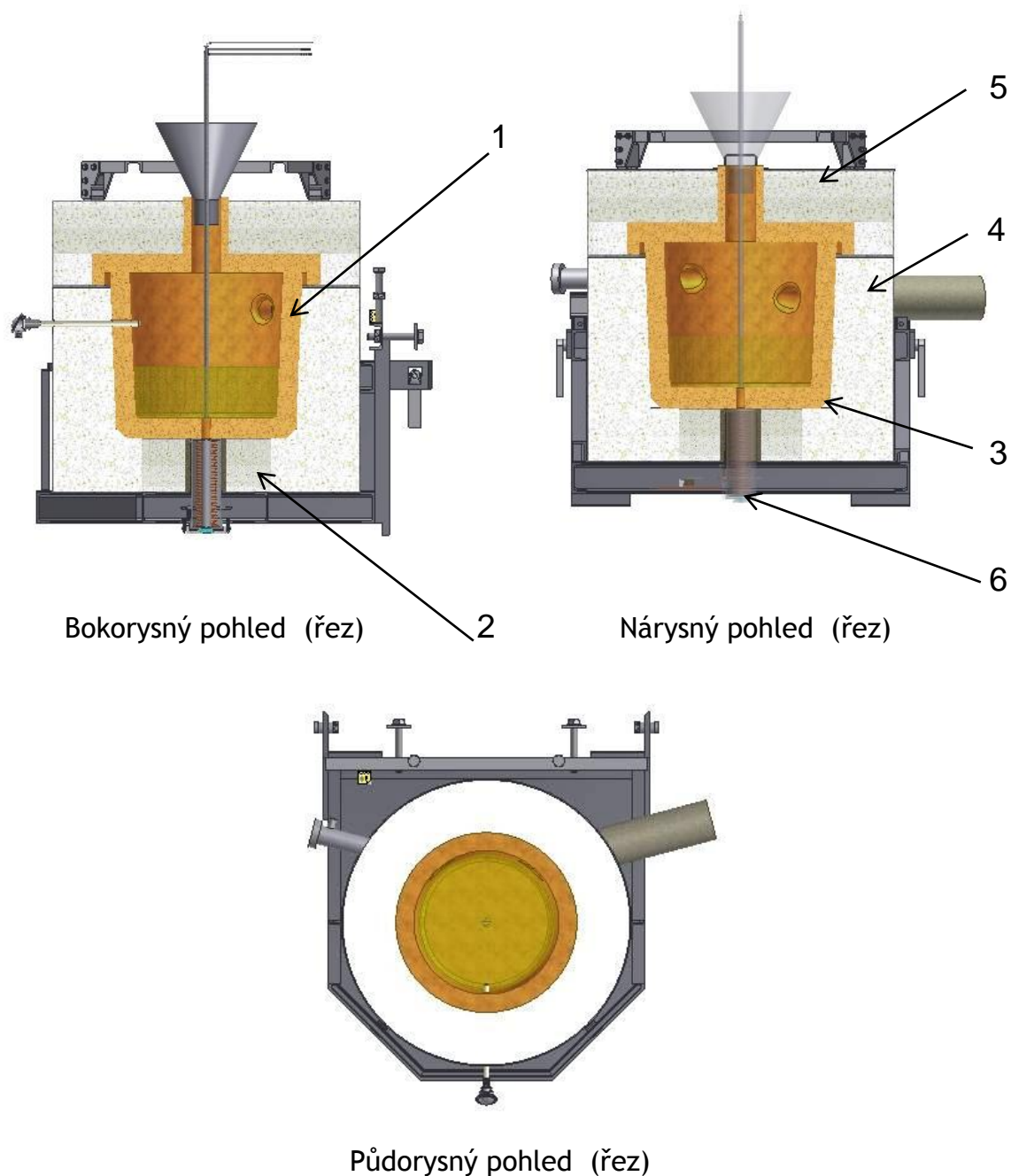
Jednotlivé části MTA jsou zřejmé z obrázku č.1. Nosnou část MTA tvoří ocelová konstrukce (7). Na ní je uchycena odnímatelná konzole (6) zakrytá víkem (2) s otvorem pro zakládání sklářské vsázky (1). Uvnitř kovového pláště konzole je umístěna speciální pánev s otvory pro hořákový vstup a výstup spalin (3). Součástí pracoviště MTA je také tvarovací stroj (4) a pódium (5).



Obr.1 - Pracoviště prototypového zařízení MTA [2]

- 1) Otvor pro zakládání 2) víko agregátu 3) odtah spalin 4) tvarovací stroj 5) obslužné pódium 6) odnímatelná konzola pece 7) rám pece

Vnitřní uspořádání MTA je patrné z obrázku č.2. Pánev (1) je uložena na keramické trubce (2) a pevných izolačních deskách. Mezi pánví a izolační deskou je umístěna vrstva žárobetonu Ersol (3). Ta tvoří bezpečnostní vrstvu proti zničení izolačních desek případnou zateklou sklovinou. Usazená a vycentrovaná pánev je obložena volným izolačním vláknem Alsiflex (4). Celá konzole je zakryta shora přisazeným víkem (5). To je tvořeno keramickou poklicí z hlinito-zirkoničitého materiálu vloženou do ocelového pláště víka, izolačními deskami Promasil a volným izolačním vláknem Alsiflex.



Obr.2 - Konzola s víkem MTA [2]

1) pánev 2) keramická trubka 3) žárobeton 4) vláknitá izolace 5) víko 6) výtok

Toto vlákno je použito v místech, kde je obtížné přizpůsobit desku. Vypouštění skloviny je realizováno pomocí induktivně otápeného výtoku (6), který je přisazen ke dnu pánve. Induktivní výtok je otápen středofrekvenčním generátorem VEZAS o výkonu 10 kW. Průměr výtokového otvoru je v závislosti na tvarovaném sortimentu dimenzován pomocí výměnné redukce.



### 1.1.3 Systém otopu

Pec je otápěna plynovým hořákem. Hořáková tvarovka je uchycena na keramický vývod osazený přímo v tělese pánve. Pánev je ještě opatřena druhým keramickým vývodem, sloužícím pro odtah spalin. Spalování probíhá přímo v prostoru sklářské pánve a odtah spalin je veden přes přisazený rekuperátor. V rekuperátoru dochází k předehřevu spalovacího vzduchu na teplotu přibližně 300°C a k ochlazení spalin pod 600°C. Spaliny jsou dále odváděny přes systém kanálů do centrálního filtračního zařízení a poté do komína. Využitím rekuperovaného tepla pro ohřev spalovacího vzduchu dochází k významné úspoře nákladů na chod MTA.

### 1.1.4 Zakládání vsázky

Kmen a střepy se do zařízení MTA se zakládají odděleně. Víko MTA je pro tento účel opatřené otvorem, do kterého se vloží násypka. Poté lze zakládat zakládacím dělem nebo ručně. Zakládání probíhá na etapy. V první etapě jsou založeny střepy. Po jejich protavení jsou založeny čtyři stejně velké dávky kmene zhruba v hodinových intervalech.

### 1.1.5 Homogenizace skloviny

Po roztavení vsázky a dosažení čerčících teplot se v současnosti provádí homogenizace foukáním. Nerezová vodou chlazená foukací hubice se ponoří do skloviny a tlakovým vzduchem se sklovina probublá.

Foukání skla má tři cíle:

- ✓ uvést sklovinu do pohybu
- ✓ zamícháním homogenizovat sklovinu a odstranit případné šlíry
- ✓ spojit drobné bublinky ve větší

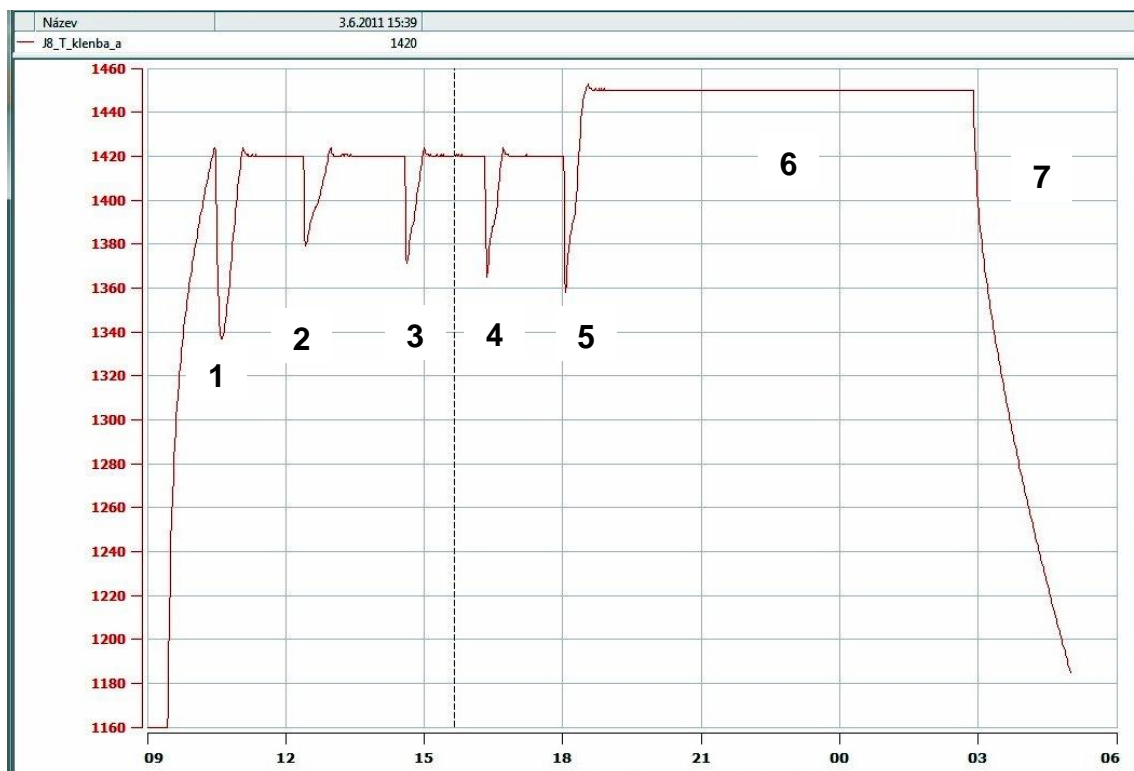
V rámci zkušebních taveb byly odzkoušeny různé způsoby foukání. Foukalo se po protavení skloviny, jednou, případně dvakrát po sobě s cca. 30 minutovým odstupem.

### 1.1.6 Tavení - rozsah tavených barevných skel

V průběhu zkušebních taveb byla tavena tato skla: Safír, Aqua Bohemica, Ametyst, Light Ametyst, Peridot, Black Diamond, Blue Zircon, Capri Blue a Smoked Topaz. Nakládky se pohybovaly kolem 120 kg a zakládalo se na 5x. Nejdříve se založily střepy a po jejich protavení přišly na řadu čtyři nakládky kmene. Tavicí teplota se pohybovala v rozsahu 1440 – 1460 °C a délka tavby průměrně 8 hodin. Po utavení následovalo sejítí na zpracovací teplotu. Pracovní teplota se výrazně lišila podle příslušné barevné skloviny



a pohybovala se v intervalu 1050 – 1250°C. Podrobnější představu o vedení tavby lze získat z vizualizace časové závislosti teploty na obrázku č.3. Na ose X je vynesena čas v hodinách, na ose Y teplota ve stupních Celsia. Znázorněná křivka zobrazuje časový průběh teploty naměřené termočlánkem v klenbě pánvové pece.



Obr.3 - Ukázka vizualizace tavicí křivky MTA (tavba 3.-4.6.2011)

1)nakládka střepů 2-5) nakládka kmene 6) tavení 7)sejití na pracovní teplotu

### 1.1.7 Tvarování výlisků

Tvarování probíhá na rotačním a univerzálním mačkadle. Obě tato mačkadla tvarují surovinu z vytékajícího pramínku skloviny, ale výrazně se liší způsobem tvarování výlisku. Rotační mačkadlo tvaruje na principu dvou proti sobě se otáčejících rolen. Jeho předností je vysoká produktivita, nevýhodou nemožnost tvarování suroviny s dírkou. Univerzální mačkadlo (Maturovo) tvaruje pomocí tzv. kaplíků, což jsou formy pohybující se paralelně proti sobě. Výhodou tohoto mačkadla je rozsah tvarovaného sortimentu a možnost výroby suroviny s dírkou. Nevýhodou oproti rotačnímu mačkadlu je výrazně nižší produktivita. Tvarování probíhá v teplotním rozsahu 780 – 970°C a teplota tvarování je závislá na složení mateční skloviny.

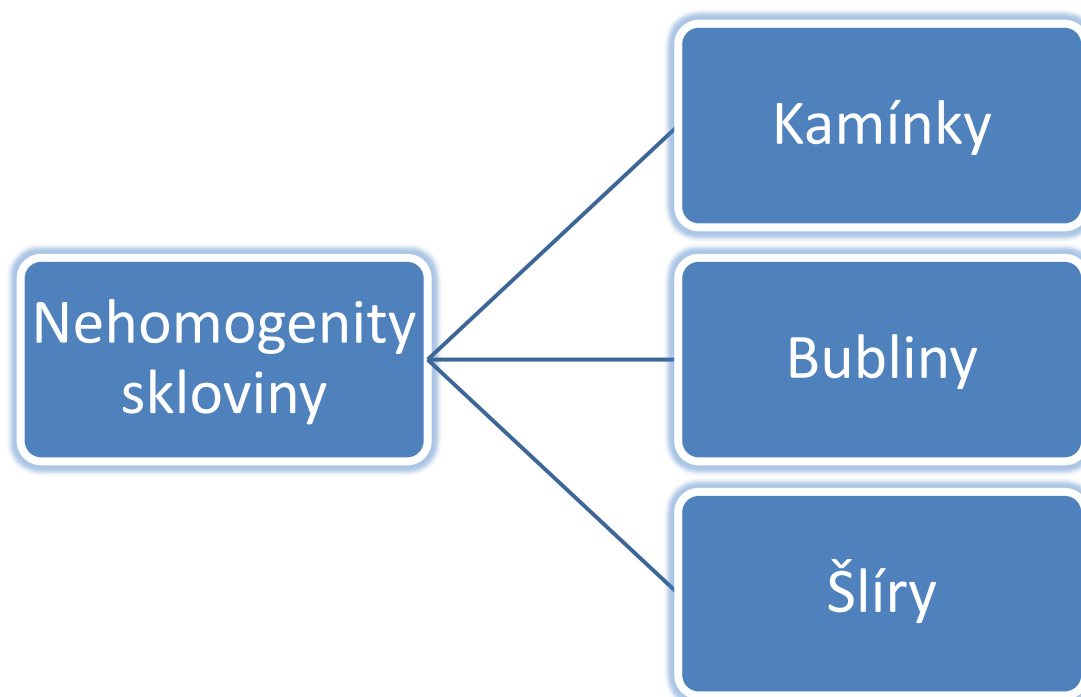


### 1.1.8 *Následné operace*

Po vytvarování a vychladnutí jsou výlisky převezeny na operaci šitlování, kde dochází k oddělení výlisku od broku. Po šitlování následuje v některých případech operace kulacení nebo nabíhání, které jsou odvislé od dalšího využití suroviny v následném toku výroby. Po nezbytné výstupní kontrole kvality je surovina připravena k expedici na brusírenské závody.

### 1.1.9 *Homogenita utavené skloviny*

V současné době se víc než kdy jindy sklářský průmysl zaměřuje na zlepšení kvality skleněných výrobků. Jedním z nejdůležitějších faktorů přímo ovlivňujícím vlastnosti výrobku a tím i jeho užitnou hodnotu je homogenita zpracovávané skloviny. Pod pojmem homogenní sklo rozumíme takové sklo, které je ve všech svých částech fyzikálně i chemicky stejnorodé a neobsahuje vnitřní vady. Hlavními vnitřními vadami skloviny, zhoršujícími opticko-estetické vlastnosti konečného výrobku jsou kamínky, bubliny a šlíry.



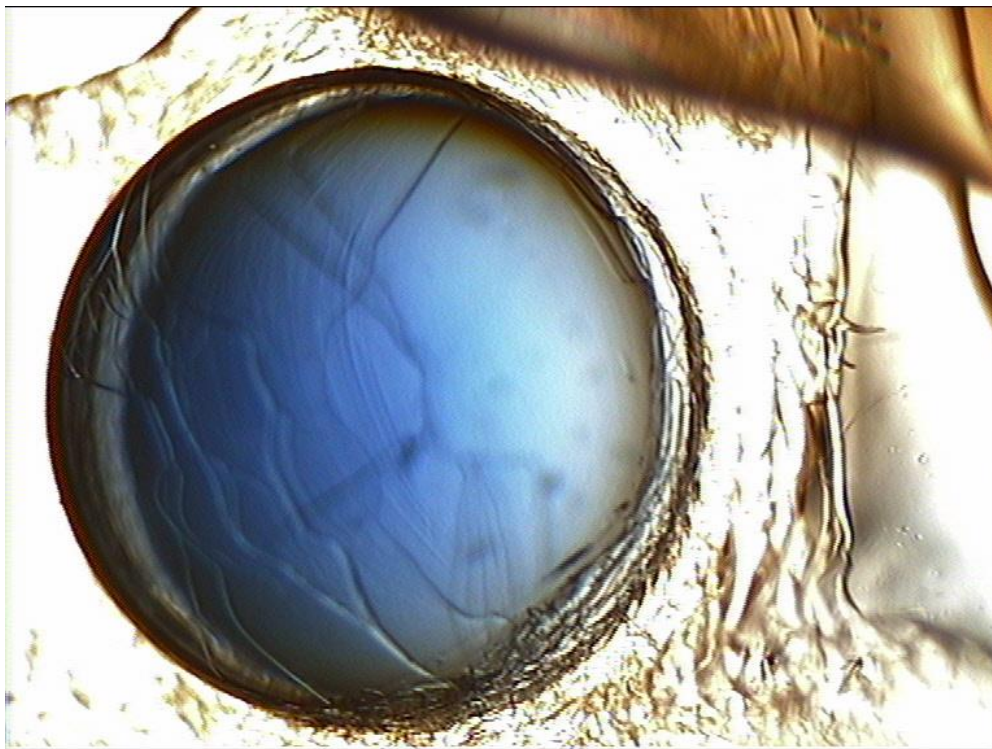
- ✓ **Kamínky** – jsou definovány jako zbytky neprotavených pevných součástí ve sklovině (kmene, nečistot ze střepů, žárovzborných hmot, kousků kovu atd.).
- ✓ **Bubliny** – jsou rozděleny podle způsobu vzniku na bubliny z kmene, bubliny ze sekundárního čření, bubliny ze žárovzborného materiálu, bubliny z cizích hmot ve sklovině a bubliny tvarovací.





- ✓ **Šlíry** – jsou definovány jako skelné (nikoli krystalické) nestejnorodosti ve skle, které mají optické a jiné vlastnosti odlišné od okolního skla.

Ukázka šlíry v surovině špička 2.1 ze skloviny Safír utavené na MTA (obr.4).



Obr.4 - Ukázka šlíry ve sklovině Safír (šp.2,1)

#### 1.1.10 Zdroje šlírovitosti v MTA

Zdroje šlírovitosti skloviny produkované na MTA lze přisuzovat třem hlavním faktorům. Tavicímu procesu, tepelné nestabilitě barvicích oxidů a technickému stavu pece.

- ✓ **Šlíry z tavicího procesu** – jedná se především o produkty koroze vzniklé rozpouštěním stěny pánve. Vzhledem ke složení materiálu pánve se jedná převážně o šlíry hlinité. Tento typ šlíry se dostává do skloviny během tavení a zpracování. U MTA se negativně projevovaly především šlíry vzniklé v konečné fázi zpracování skloviny, kdy korozní produkty stékají společně s tenkou vrstvou skloviny po stěně pánve a kontaminují zbytkovou sklovinu v pánvi těsně před jejím zpracováním.





- ✓ **Šlíry z tepelně nestabilních skel** – vznikají odpařováním některých nestabilních složek skloviny z její povrchové vrstvy. Povrchová vrstva skloviny je o tyto složky ochuzována v závislosti na teplotě, čase a tenzi par nad hladinou. Tento typ šlír se objevuje především u skloviny Ametyst, barvené manganistanem draselným, kde dochází k tvorbě barevných šlír výrazně odlišných od okolní skloviny.
- ✓ **Šlíry zapříčiněné technickým stavem pece** – po odtemperování a výhasu MTA bylo zjištěno, že pánev byla po obvodu na třech místech prasklá. Byla zjištěna prasklina po obvodu na rozhraní stěny a dna. V prostoru izolací, se nacházelo sklo. Tento stav vedl k neustálému zatékání skloviny do prostoru mimo pánev při tavení a zpětnému vyplavování skloviny s odlišným chemickým složením při zpracování. Sklovina ze spár byla obohacena o korozní produkty žáromateriálu a natavené zbytky vláknité izolace a její vyplavování se projevovalo v konečné fázi zpracovacího cyklu přítomností silně šlírované skloviny.

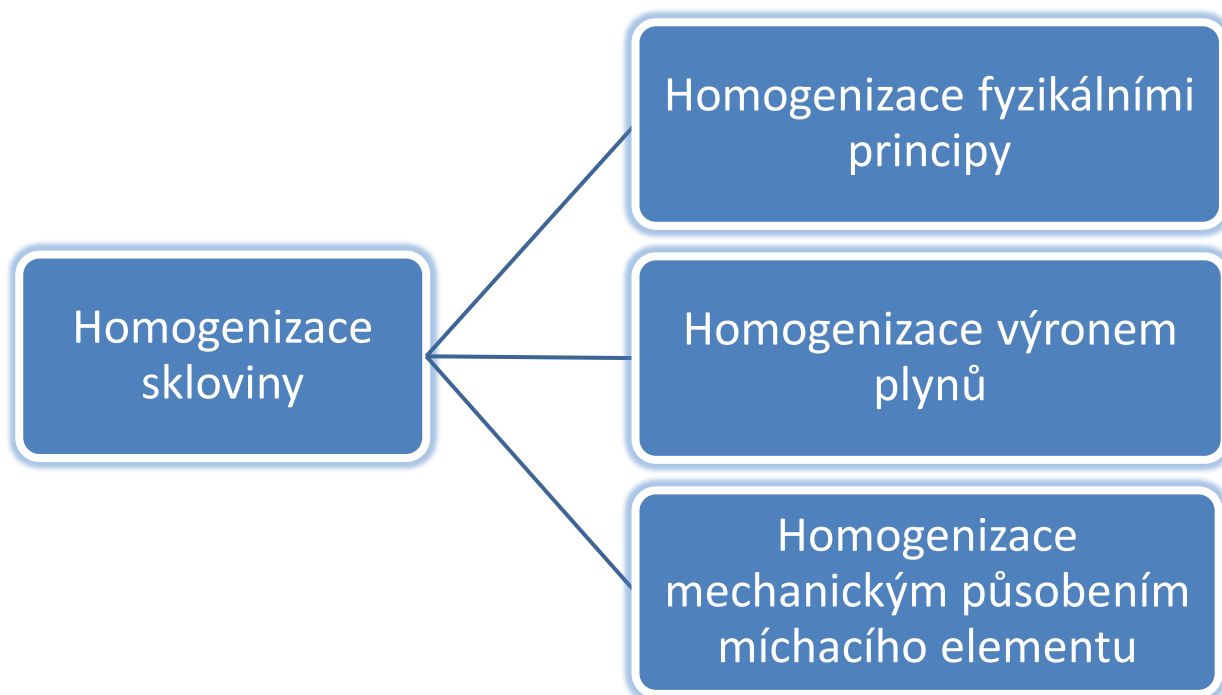
#### 1.1.11 *Shrnutí nedostatků současného stavu*

Největší podíl vad ve sklovině utavené v MTA zaujímaly jednoznačně šlíry. Jejich výskyt v průběhu zpracování tavby kolísal a obecně lze konstatovat, že s ubývajícím množstvím skloviny v pánvi se šlírovanost zhoršovala. Tento nedostatek řeší instalace zařízení pro intenzivní homogenizaci skloviny, jehož návrh a konstrukce jsou součástí této práce.



## 1.2 Literární a patentová rešerše

V rámci zpracování bakalářské práce byla provedena literární a patentová rešerše využitelných možností řešení. Na základě získaných poznatků lze metody homogenizace skloviny využitelné v pánvových pecích shrnout do tří základních směrů:



### 1.2.1 Homogenizace využívající fyzikální principy.

- ✓ **Elektromagnetické míchání skloviny** – míchání skloviny s využitím křížících se elektrických a elektromagnetických polí. Na základě přímého ohřevu skloviny vznikne nejdříve vyšší teplotní gradient. Při elektromagnetickém míchání skloviny může být tento gradient silně ovlivněn. Superpozice Lorentzových sil (přirozená či umělá) a vztahové síly způsobí změnu teplotního gradientu a posun teplotního maxima ve směru umělé Lorentzovy síly. Zlepšení homogenity skloviny se dá prokázat snížením rozdílu hustoty.
- ✓ **Homogenizace ultrazvukem** – využívá se spíše pro speciální a vysoce korozivní skla v kombinaci s Pt kelímkem a vysokofrekvenčním ohřevem. Ultrazvukové kmity jsou vyvolány přímo v kelímku zavedením stejnoměrného magnetického pole v ose pícky.



Metody fyzikální homogenizace se prozatím využívají pouze pro výzkumné a speciální účely. Jejich hlavní nevýhodou je malá účinnost a vysoké investiční náklady.

### 1.2.2 *Homogenizace využívající proudění v důsledku výronu plynů*

Tento způsob homogenizace se obecně nazývá foukání. Jeho hlavním principem je výron plynů (nejlépe u dna pánve), které svým pohybem k hladině způsobují pohyb skloviny. Dochází k roztažení velkých šlír v jemnější, které se potom difusí rozpouštějí ve sklovině. Foukání skla je mechanický proces, který lze provést několika způsoby:

- ✓ **Kusovým kysličníkem arsenitým** – kusový arsenik má specifickou hmotnost  $3,7 \text{ kg/m}^3$ , kdežto běžné bižuterní sklo přibližně  $2,7 \text{ kg/m}^3$ . Vhodíme-li kusový arsenik do pánve, rychle klesá ke dnu a vyvíjí se na něm velký objem plynů, které sklovinu prudce vzdouvají.
- ✓ **Organickou hmotou** (dřevo, papír, brambor nebo řepa) – provádíme např. namočeným dřevěným kolíkem nabodnutým na konci foukací tyče. Nejčastěji se používá kolík z bukového dřeva 100 - 150 mm dlouhý. Nevhodná jsou dřeva smolná, která způsobují drobné bublinky.
- ✓ **Stlačenými plyny** – nejjednodušší a nejlevnější je foukání tlakovým vzduchem. Foukání ostatními plyny (kyslík, chlor) se používá pouze ve speciálních případech. Tlakový vzduch se zavádí ke dnu pánve pomocí chlazeného injektoru a fouká se podle potřeby 0,5 – 2 minuty. S výhodou lze foukat sklovinu ještě částečně neprotavenou, čímž se urychlí reakce. Teprve druhým foukáním homogenizujeme sklovinu mnohem dokonaleji, než u ostatních způsobů foukání.

Nevýhodou foukání je jeho působení pouze po velmi krátkou dobu a z toho vyplývající malá účinnost. Výhodou jsou nízké investiční náklady.

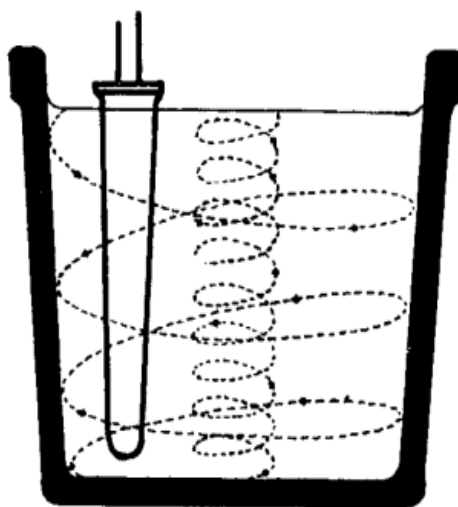
### 1.2.3 *Mechanické míchání skloviny*

Ve opodstatněných případech, kdy je kladen důraz na vysokou vnitřní homogenitu skloviny, se využívá strojního míchání utavené skloviny.

- ✓ **Homogenizace tyčovým míchadlem** – byla využívána v počátcích strojní homogenizace jako náhrada ručního tyčového míchadla. Skládá se z vodou chlazeného míchacího ramena, na konci osazeného chlazenou upínací hlavou, ve které je upnutý šamotový míchací kolík. Míchací rameno je unášeno dvěma kotouči



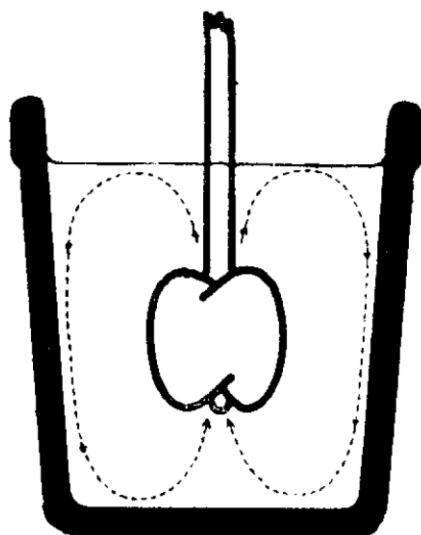
míchacího stroje, které se otáčejí kolem svislých hřídelů. Pohyb míchadla je v tomto uspořádání kruhový a jeho trajektorie je naznačena na obrázku č.5..



Obr.5 - Homogenizace tyčovým míchadlem [4]

- ✓ **Homogenizace vrtulovým míchadlem** – je mnohem účinnější než míchání tyčovým míchadlem. Dříve se tento způsob využíval pouze ve výrobě optického skla, ale v současnosti můžeme míchání vrtulovým míchadlem považovat za nejúčinnější mechanickou metodu homogenizace, využitelnou i u ostatních typů technických skel. Vzhledem k tomu, že vrtulové míchání intenzivně napomáhá tepelné homogenizaci, je výhodné ho využívat především pro tavení barevných skel s nízkou tepelnou propustností, kde působí i na urychlení tavení. U tohoto způsobu homogenizace nastává převod hybnosti přímým tlakem lopatek na sklovinu. Míchadlo způsobuje pohyb skloviny středem pánve vzhůru směrem k hladině a od hladiny podél stěn směrem ke dnu pánve. Tím se dosáhne uspokojivé homogenity v celém objemu pánve. Výhodou strojní homogenizace je vysoká účinnost a přijatelné investiční náklady. Pohyb míchadla je v tomto uspořádání rotační a způsobuje proudění skloviny, které je patrné z obrázku č.6..

Jako materiál míchadel lze využít keramiku nebo kovová míchadla. U keramických míchadel se využívá materiálů s vysokou odolností proti tepelným šokům a značnou korozní odolností. U kovových míchadel se využívá speciálních slitin (Mo, Cr, Ni) nebo nejčastěji slitin vzácných kovů (Pt, Rh, případně s přídavkem Au).

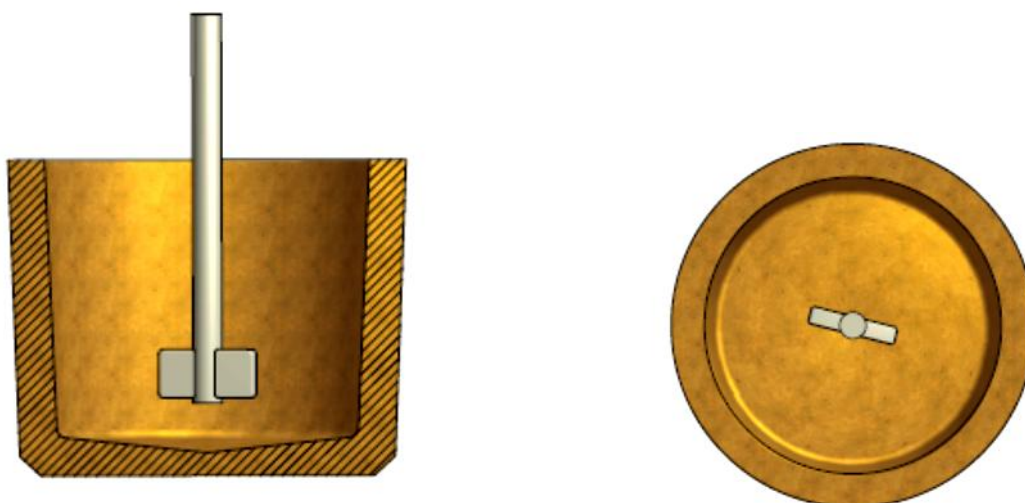


Obr.6 - Homogenizace vrtulovým míchadlem [4]

#### 1.2.4 Závěry vyplývající z rešerše současných používaných řešení

Vzhledem ke specifickým požadavkům bižuterních sklovin na vnitřní homogenitu jsou fyzikální homogenizace i homogenizace foukáním pro další řešení nepoužitelné. Hlavním důvodem je jejich malá účinnost. I v případě, že by splňovaly kvalitativní požadavky, zbyl by při jejich použití pouze omezený prostor pro další intenzifikaci.

**Z pohledu Preciosy jako potencionálního uživatele je proto využitelný pouze mechanický způsob míchání skloviny vrtulovým míchadlem.**



Obr.7 - Varianta centricky umístěného míchadla (částečný řez)



Z experimentálních studií popsaných v literatuře jednoznačně vyplývá, že největší účinnosti dosahují míchadla umístěná v pánvi centrálně, tj. ve vertikální ose pánve, s lopatkovou částí míchadla situovanou do poloviny výšky skloviny. Viz obr. č.7.

**V další části práce proto budou navrhovány pouze alternativy s umístěním míchadla centrálně.**

### **1.3 Očekávané cíle řešení**

Šlírovitost, jak již bylo popsáno v předcházejícím textu, je dominantní příčinou zhoršování výtěžnosti zpracovávané skloviny na tavicím agregátu MTA. Zvláště v druhé polovině zpracovávaného objemu skloviny v pánvi šlírovitost přesahovala povolenou mez a surovina musela být vystřepována. Celková výtěžnost z utavené skloviny díky tomu dosahuje na MTA pouze 32 % a vzhledem k absenci homogenizačního prvku nejsou k dispozici technické prostředky pro její zvýšení.

Hlavním cílem této bakalářské práce je vývoj a konstrukce zařízení pro intenzivní míchání skloviny v malé pánvové peci. Zařízení má zvýšit homogenitu skloviny a zajistit tím vyšší výtěžnost suroviny produkované na tomto typu agregátu.

Dílčí cíle bakalářské práce jsou následující:

- ✓ Provést rešerši současných používaných konstrukčních řešení pro intenzivní míchání včetně použitých materiálů
- ✓ Specifikovat teoretické možnosti a předpoklady řešení
- ✓ Definovat varianty řešení
- ✓ Navrhnout a provést experimenty k ověření teoretických předpokladů
- ✓ Vybrat vhodnou variantu na základě rozhodovací analýzy
- ✓ Provést potřebné výpočty
- ✓ Navrhnout a konstrukčně vyřešit vybraný koncepční návrh zařízení včetně výkresové dokumentace
- ✓ Provést zhodnocení přínosu a využitelnosti navrženého řešení

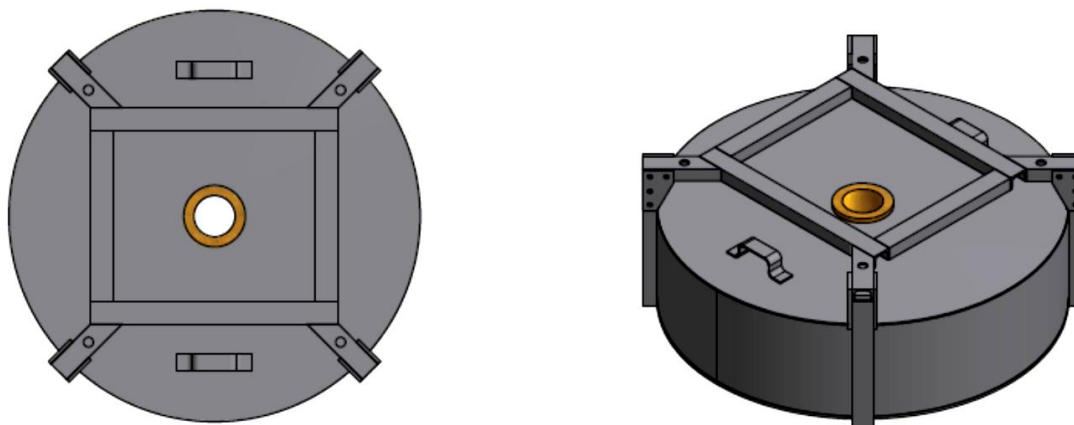


## 2. Návrh alternativních řešení homogenizace

V této kapitole je proveden teoretický rozbor alternativních způsobů homogenizace a jsou zde navrženy varianty řešení homogenizačního zařízení. Pomocí rozhodovací analýzy je v závěru vybrána optimální varianta pro podrobné konstrukční řešení.

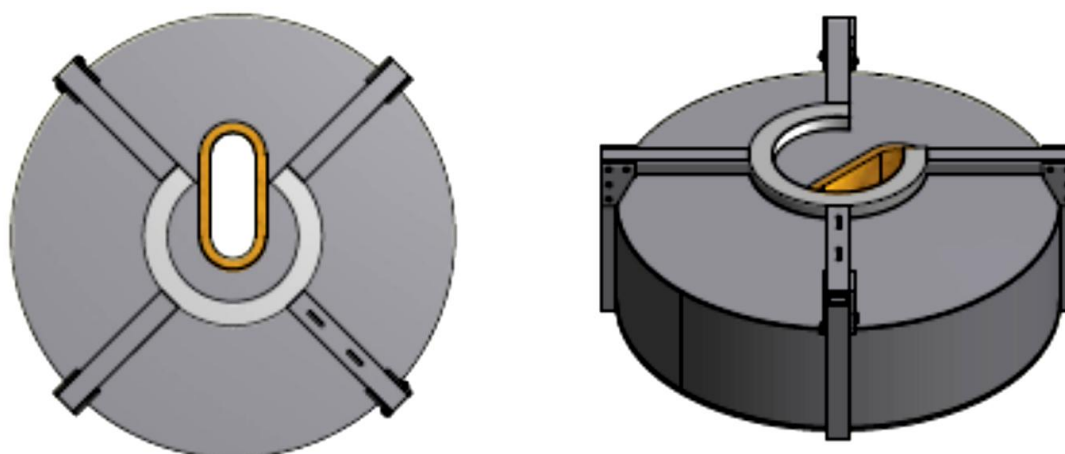
### 2.1 Úprava stávající konstrukce MTA

Pro návrhy alternativních způsobů strojního míchání s centricky umístěným míchadlem (viz. předchozí kapitola) je nejprve nutné provést minimální konstrukční úpravu tavicího agregátu. Pro průchod míchadla víkem MTA je využito otvoru pro zakládání vsázky. Z tohoto důvodu je navrhována úprava víka, při které dojde k rozšíření zakládacího otvoru ve směru k zakladači. Původní otvor bude využit pro umístění míchadla, rozšíření bude využito k zakládání sklářské vsázky. Rozsah úpravy je patrný z následujících obrázků č.8 a č.9..



Obr.8 - Víko MTA před konstrukční úpravou

Horní rám víka, který slouží pro jeho přepravu a umístění pomocí vysokozdvizného vozíku, bude upraven tak, aby tuto funkci plnil i nadále a zároveň umožňoval snadnou instalaci a výměnu míchadla.



Obr. 9 - Víko MTA po konstrukční úpravě

## 2.2 Návrh míchadla

Významnou částí homogenizačního zařízení je vlastní míchadlo. Míchadlo zajišťuje přenos hybnosti mezi míchacím zařízením a sklovinou. Je zřejmé, že na tvaru míchacího elementu a geometrické charakteristice tavicí části bude velmi záviset konečná homogenita skloviny. Účinnost míchadla závisí na celé řadě faktorů, z nichž některé lze ověřit pouze experimentálně. Proto bylo pro optimalizaci míchadla s výhodou využito fyzikálního modelování.

### 2.2.1 Popis modelovacího zařízení

Pro identifikaci geometrické charakteristiky a výběr optimálního tvaru míchadla byla využita laboratoř fyzikálního modelování fy. Preciosa. Všechna měření byla provedena na modelu sklářské pánve v měřítku 1:5. Předlohou modelu byla používaná pánve o horním průměru 820 mm a výšce 650 mm. Model byl zhotoven z extrudované trubky plexiglass. Jako modelová kapalina byl použit glukózový sirup o viskozitě 20 Pa.s. (výrobce Amylon, a.s., Havlíčkův Brod). Jako stopovací kapalina glukózový sirup o stejné viskozitě obarvený methylenovou modří. Míchadla byla kovová a jejich průměr byl volen tak, aby odpovídal poměru  $d/D = 0,30$  (průměr lopatek/průměr pánve) s výškou lopatek  $h/H = 0,1$  (výška lopatek/výška pánve). Míchadlo bylo v modelu pánve uloženo vždy centricky a bylo poháněno stejnosměrným elektromotorkem s regulovatelnými otáčkami. Sklon lopatek byl nastaven na  $45^\circ$  tak, aby při pravotočivé rotaci míchadla docházelo k čerpání modelové kapaliny ode dna.








### 2.2.2 Tvar lopatek míchadla

Byly zkoumány tři varianty v praxi využívaného tvaru lopatek:

- ✓ Míchadlo s obdélníkovými lopatkami
- ✓ Míchadlo s trojúhelníkovými lopatkami upnutými k hřídeli míchadla základnou
- ✓ Míchadlo s trojúhelníkovými lopatkami upnutými k hřídeli míchadla vrcholem

Výsledky modelových zkoušek jsou shrnuty v tabulce č. 1. Tvar míchadla je patrný ze symbolů v prvním sloupci. V tabulce je uveden počet otáček za minutu ( $n$ ), doba homogenizace ( $\tau$ ) a odpovídající hodnota kritéria účinnosti ( $n \cdot \tau$ ).

Tabulka č.1 - Modelování vlivu tvaru lopatek

Tvar listu míchadla	$n$ [1/min]	$\tau$ [min]	$n \cdot \tau$ [ - ]
	20	6,2	124
	40	4,3	172
	60	2,2	132
	20	7,1	142
	40	3,9	156
	60	1,9	114
	20	15	300
	40	5,2	208
	60	3,1	186

Rozhodným faktorem pro kvantifikaci účinnosti homogenizace je kritérium účinnosti ( $n \cdot \tau$ ). Čím vyšší je jeho hodnota, tím rychleji došlo, za daných podmínek, ke zhomogenizování objemu modelové kapaliny. Z provedených experimentů vyplývá, že není podstatný rozdíl v době homogenizace mezi míchadlem s lopatkami obdélníkovými a lopatkami ve tvaru trojúhelníka upnutými k hřídeli vrcholem. Míchadlo s trojúhelníkovými



lopatkami upnutými k hřídeli základnou mají účinnost znatelně menší, především při nízkých otáčkách. **Vzhledem k prezentovaným výsledkům bude v návrhu míchadla použit obdélníkový tvar lopatek.** Míchadlo s trojúhelníkovými lopatkami, spojenými s hřídelí míchadla vrcholem má sice srovnatelný účinek, ale je konstrukčně problematické (nižší mechanická pevnost, předpoklad ulomení lopatek).

### 2.2.3 Počet lopatek míchadla

Experiment byl proveden s míchadlem s obdélníkovými lopatkami. Na hřídel byly postupně připevňovány lopatky v počtu 1, 2 a 3 páry a to vždy nad sebe, bez úhlového posunutí. Měření bylo provedeno při 30 a 60 ot./min a výsledky jsou shrnuty v tabulce č.2.

Tabulka č.2 - Modelování vlivu počtu lopatek

Počet párů lopatek	n = 30 ot/min		n = 60 ot/min	
	$\tau$ [min]	$n \cdot \tau$ [-]	$\tau$ [min]	$n \cdot \tau$ [-]
1	5,6	168	2,2	132
2	3,1	93	1,1	66
3	2,9	87	1,0	60

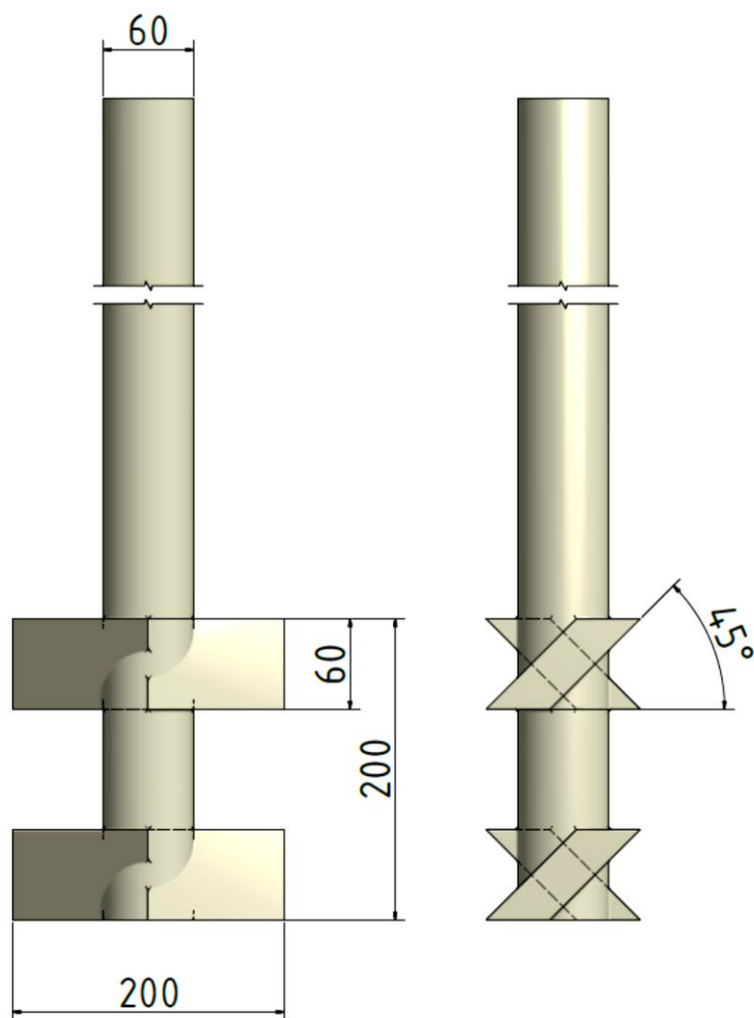
Z experimentu vyplývá, že maximální rozdíl hodnot kritéria účinnosti ( $n \cdot \tau$ ) vykazují míchadla s jednou a dvěma lopatkami. Dalším zvyšováním počtu lopatek se již hodnoty kritéria účinnosti významně nemění. **Za optimální lze proto považovat osazení dvěma lopatkami.**

### 2.2.4 Návrh tvaru míchadla

Na základě provedených experimentů je pro homogenizační zařízení MTA navrženo míchadlo s dvěma páry lopatek obdélníkového tvaru, umístěných nad sebou na hřídeli míchadla. Tvar míchadla je zřejmý z obrázku č.10. Míchadlo je vyrobené z keramického materiálu. Hlavním důvodem je jeho příznivá cena při zachování požadovaných pevnostních a materiálových vlastností. Na základě dosavadních zkušeností byla vytipována keramika Z20-C Maďarské firmy Refmon. Tato keramika



obsahuje 66%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 21%  $\text{ZrO}_2$ , 12%  $\text{SiO}_2$  a 1% příměsí. Má velmi dobrou korozní odolnost, nízkou teplotní roztažnost a dobře odolává teplotním šokům.



Obrázek č. 10 - Model navrženého keramického míchadla

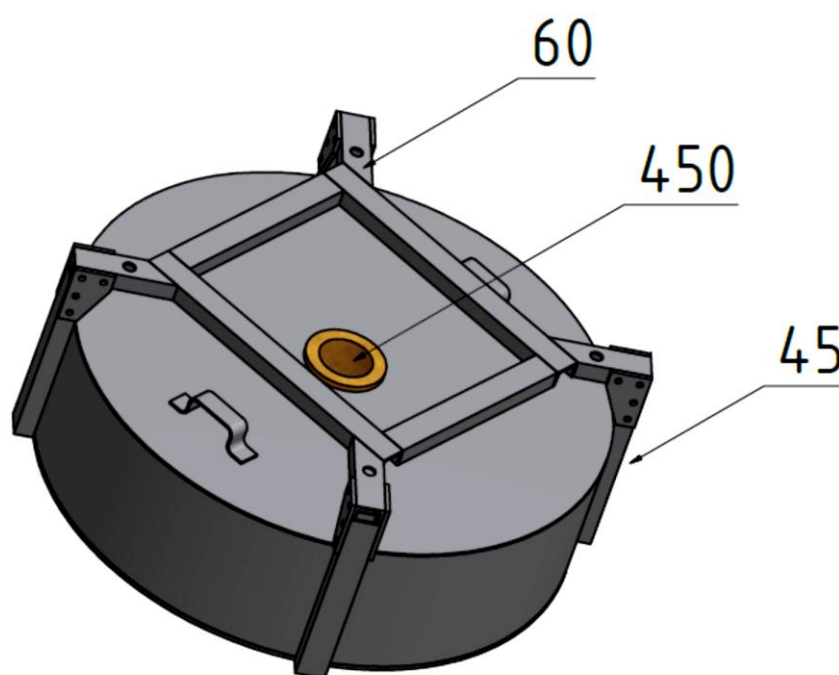
Klíčové vlastnosti keramického materiálu jsou převzaty z technického listu výrobce:

✓ Pevnost v tlaku	85 $\text{N.mm}^{-2}$
✓ Délková teplotní roztažnost	0,7 %
✓ Specifická hmotnost	2,9 $\text{kg.m}^{-3}$
✓ Pórovitost	22 %
✓ Pracovní teplota	1650 °C



## 2.3 Okolní teplota

Další z veličin důležitých pro konstrukci homogenizačního zařízení je teplota okolního prostředí. Teplota byla zjišťována pomocí termokamery Fluke Ti 21. Při měření nebylo dosaženo uspokojivých výsledků z důvodu vrchního nátěru MTA. Agregát byl natřen vypalovací barvou Aluxal, která obsahuje hliníkovou pastu. Hliník má velmi nízkou emisivitu (0,03) a tak až 97% záření přijatého čipem kamery pochází od okolních objektů. Z tohoto důvodu nelze termokamerou správně měřit teplotu a proto byl pro měření využit dotykový pyrometr Fluke 51 s termočlánkem typu S. Byla proměřena teplota nad otvorem pro zakládání, na vrchní straně rámu víka a na boční straně rámu víka. Naměřené hodnoty ve stupních Celsia jsou uvedeny na obrázku č. 11.



Obr. 11 - Teplota významných bodů (ve °C)

Experimentálně naměřené hodnoty se v oblasti vrchní a boční strany víka pohybují v bezpečných mezích. Je to především díky moderní konstrukci a dobré tepelné izolaci agregátu. Z tohoto důvodu nebude při konstrukčním návrhu řešeno nucené chlazení v těchto partiích. Přídavné chlazení bude využito především v oblasti otvoru pro zakládání. Zde je nezbytně nutné odstínit radiální teplo ze skloviny.



## 2.4 Výpočty potřebné pro návrh variant řešení

### 2.4.1 Výpočet výkonu míchadla a krouticího momentu vyvolaného odporem skloviny při jeho rotaci

Pro správné dimenzování koncepčního řešení homogenizačního zařízení je nezbytně nutné znát jeho předpokládaný výkon. V navazujícím textu je názorně ukázán postup výpočtu potřebného výkonu míchadla a krouticího momentu vyvolaného odporem skloviny působícího na hřídel míchadla. Sklovina je uvažována sodno-draselná (barevná, transparentní).

#### Vstupní hodnoty :

- ✓ *Hustota:*  $\rho = 2\,580 \text{ kg.m}^{-3}$
- ✓ *Otáčky míchadla:*  $n = 2 - 30 \text{ ot.m}^{-1}$
- ✓ *Průměr lopatek míchadla*  $d = 200 \text{ mm}$
- ✓ *Viskozita skloviny:*  $\eta = \text{hodnoty souhrnně uvedeny v tabulce č.1.}$

(Viskozita skloviny použitá pro výpočet byla měřena na VŠCHT rotačním viskozimetrem.)

- ✓ *Parametry A1 – A6:*  $A1 = 115, A2 = 1.619, A3 = 91,88, A4 = 0,457, A5 = 0, A6 = 0$

(Podobnostní parametry A1 - A6 použity z tabulky 9.5 - 1 [6], platí pro normované míchadlo listové CVS 69 1016)

#### Postup výpočtu:

Pro výpočet výkonu dodávaného rotačním míchadlem v homogenní sklovině platí následující vztah (výpočet je založen na teoretickém předpokladu ustáleného stavu) [6]:

$$P = P_0 \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5 \quad (1)$$

kde  $P_0$  je příkonové kritérium definované univerzální korelační rovnicí [6] :

$$P_0 = \left[ \left( \frac{A_1}{\text{Re}} \right)^{A_2} + \frac{A_3}{\text{Re}^{(A_4 \text{Re}^{A_5})}} + A_6 \right]^{1/A_2} \quad (2)$$



Reynoldsovo kritérium  $Re$  je zde určeno vztahem [6]:

$$Re = \frac{n \cdot d^2 \cdot \rho}{\eta} \quad (3)$$

výpočet krouticího momentu  $M_k$  vychází ze vztahu:

$$M_k = \frac{P}{\omega} \quad (4)$$

V tabulce č.3 jsou sumarizovány výsledky výpočtů Reynoldsova čísla  $Re$ , kritéria  $P_0$ , výkonu  $P$  a krouticího momentu pro maximální a minimální otáčky.

Tabulka č.3.

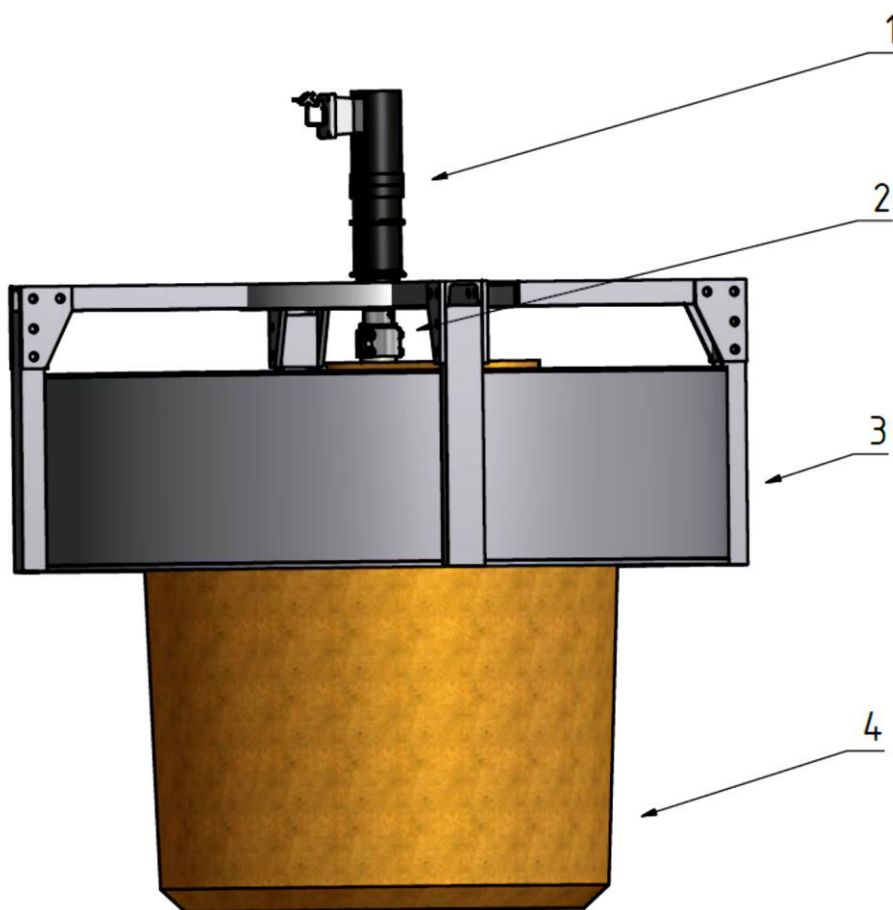
Teplota skloviny $t$ [°C]	Viskozita skloviny $\mu$ [Pa.s]	$Re$ [-]	Výkon. krit. $P_0$ [-]	Výkon $P$ [W]	Krouticí moment $M_{k-30}$ [N.m]	Krouticí moment $M_{k-2}$ [N.m]
1370	18,49	2,79	44,68	4,6	1,46	21,9
1270	20,22	2,55	48,52	5,0	1,59	23,8
1170	26,54	1,94	62,57	6,5	2,07	31,05
1070	32,05	1,61	74,63	7,7	2,45	36,78
970	39,09	1,32	90,23	9,3	2,96	44,4

Teplotnímu interval, ve kterém dochází k homogenizaci mícháním se nachází mezi 1250 °C a 1450 °C. Z tabulky č.3. byla pro teplotu 1250 °C odečtena hodnota krouticího momentu  **$M_k = 25 \text{ Nm}$** . Tato hodnota bude použita pro další výpočty.

## 2.5 Návrh variant řešení

### 2.5.1 Varianta A

Pohon míchadla (1) je umístěn přímo v ose míchadla nad zakládacím otvorem. Přenos výkonu z motoru na hřídel míchadla je zabezpečen třecí pojistnou spojkou (2) s nastavitelným momentem. Ta zároveň plní úlohu bezpečnostního prvku a zabraňuje destrukci míchadla v případě zvýšené viskozity skloviny (např. v důsledku poruchy otopu). Výhodou této varianty je jednoduchá konstrukce, nízké náklady na realizaci a minimální ztráty při přenosu výkonu motoru. Nevýhodou je vysoká tepelná expozice motoru, která by vyžadovala instalaci dodatečného chlazení. Dále jeho umístění v oblasti, kde se odehrává veškerá manipulace s vsázkou.



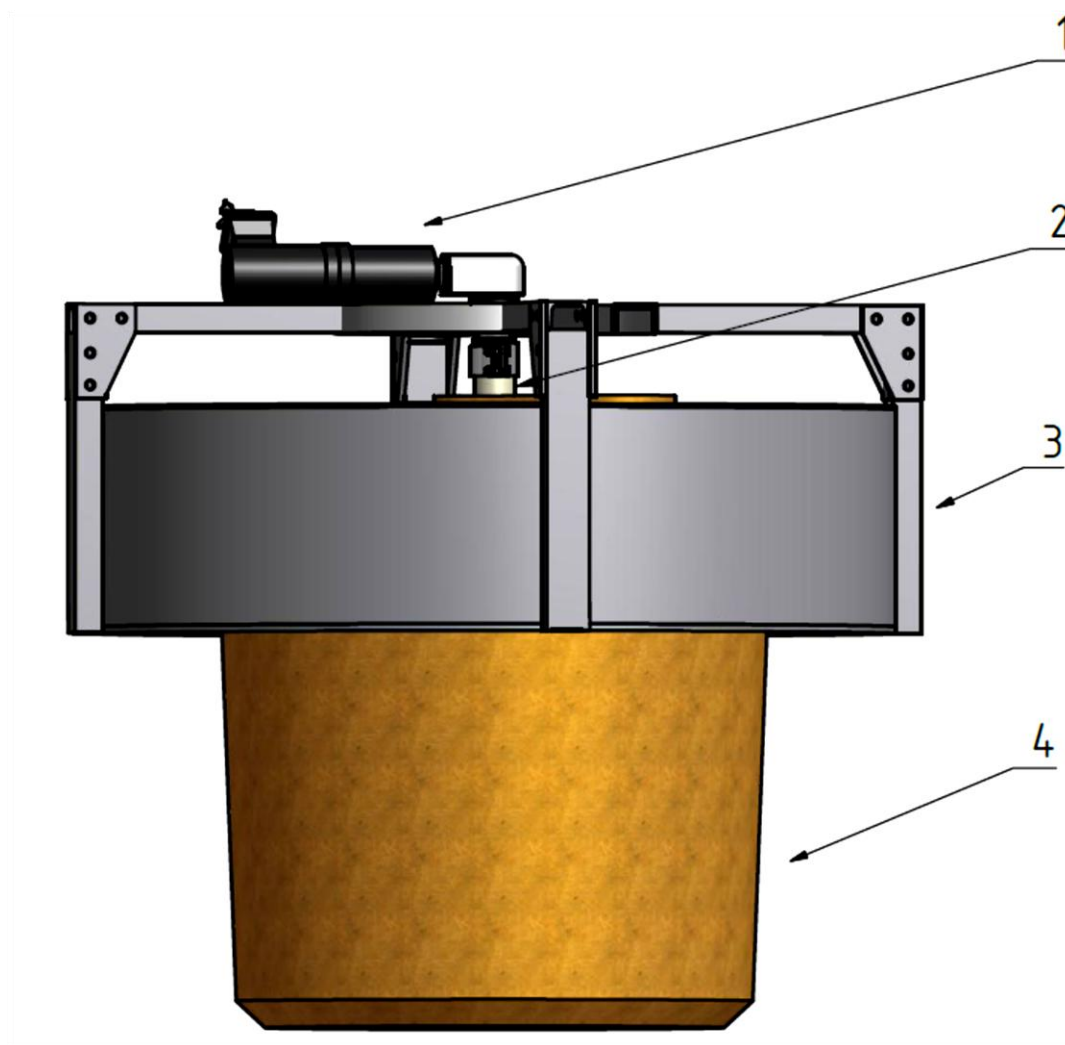
Obr. 12 - Zjednodušený model varianty A

1) pohonná jednotka 2) třecí spojka + hřídel míchadla 3) víko pece 4) pánev



### 2.5.2 Varianta B

Pohon míchadla (1) je umístěný na horní straně rámu víka pece (3). K přenosu výkonu z motoru na hřídel míchadla je využita převodovka (2), která je součástí tělesa motoru. Mezi hřídel motoru a hřídel míchadla je opět vložena třecí pojistná spojka (4). Hlavní výhodou této varianty je vymístění motoru z prostoru pro zakládání a odsávání. Nevýhodou je stále ještě velká teplotní expozice motoru s převodovkou, kterou lze vyřešit dodatečným chlazením.



Obr.13 - Zjednodušený model varianty B

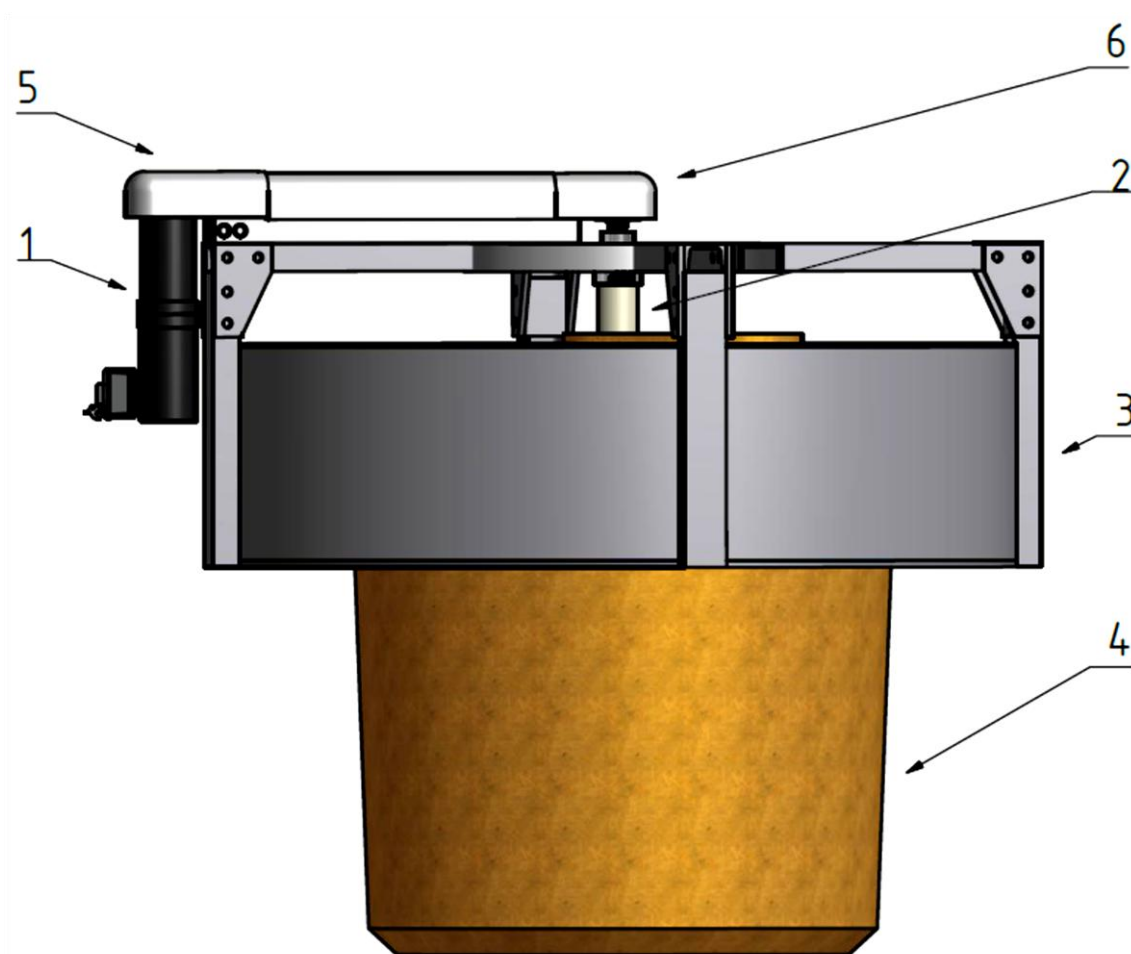
1) pohonná jednotka s převodovkou 2) třecí spojka + hřídel míchadla 3) víko pece 4) pánev





### 2.5.3 Varianta C

Pohon míchadla (1) je umístěn na boční straně rámu víka pece (3). Přenos výkonu z motoru na hřídel míchadla je zabezpečen pomocí dvou převodovek (5,6) osazených kuželovými koly. Úhel, který svírají osy hřídelů v obou převodovkách je  $90^\circ$ . Převodovky jsou spojeny hřídelí, jejíž součástí je třecí pojistná spojka s nastavitelným momentem. Hlavní výhodou této varianty je uložení motoru. Ten je umístěn na málo exponovaném místě jak z hlediska manipulací tak z hlediska okolní teploty. Nevýhodou je teplotní expozice převodovky č.2 (6) a výrobní náklady.



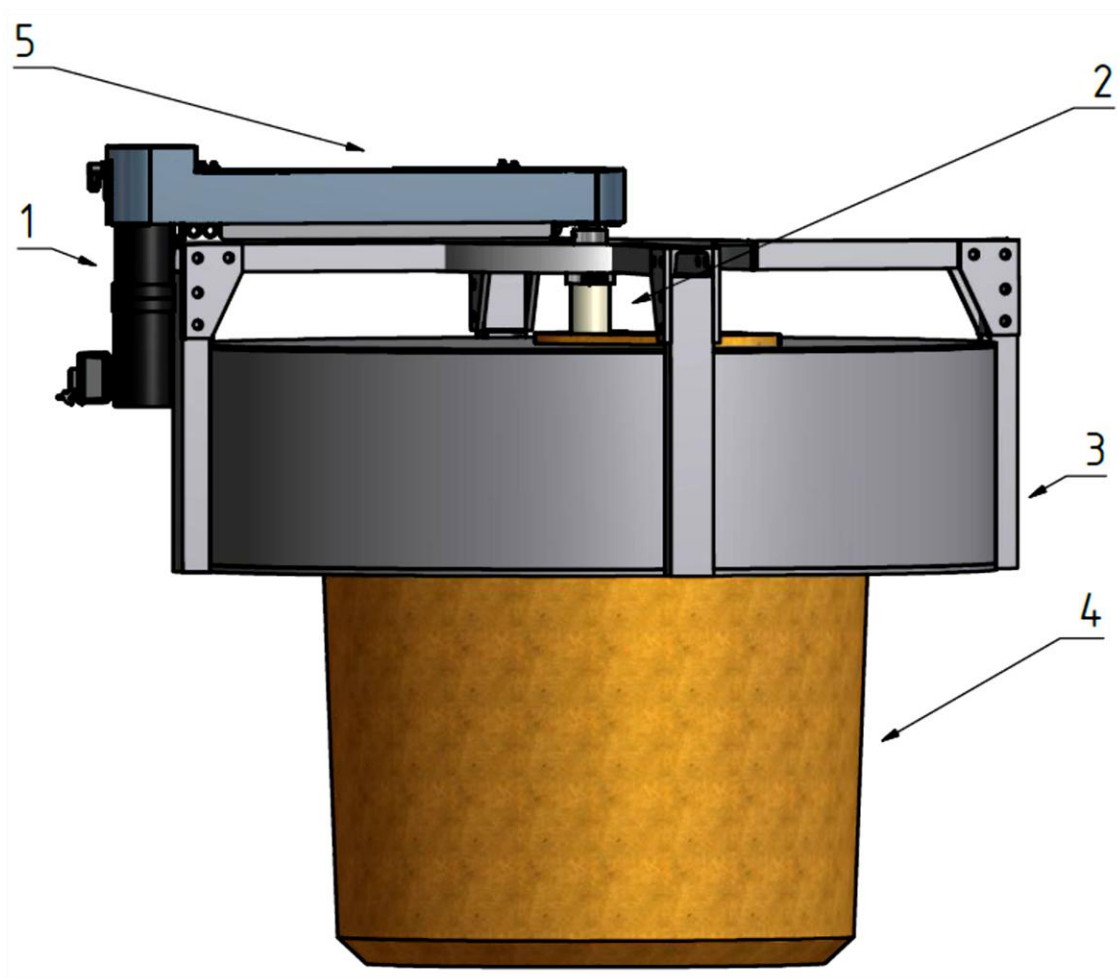
Obr.14 - Zjednodušený model varianty C

- 1) pohonná jednotka 2) třecí spojka + hřídel míchadla 3) víko pece 4) pánev 5) převodovka č.1.  
6) převodovka č.2



#### 2.5.4 Varianta D

Pohon míchadla (1) v této variantě je umístěný na boční straně rámu víka pece. Přenos výkonu z motoru na hřídel míchadla zabezpečuje řetězový převod (3). Mezi hřídel motoru a řetězové kolo je umístěna třecí pojistná spojka. Mezi výhody této varianty patří uložení motoru, nízké pořizovací náklady, nízké nároky na údržbu a schopnost řetězového převodu pracovat v náročných podmínkách.



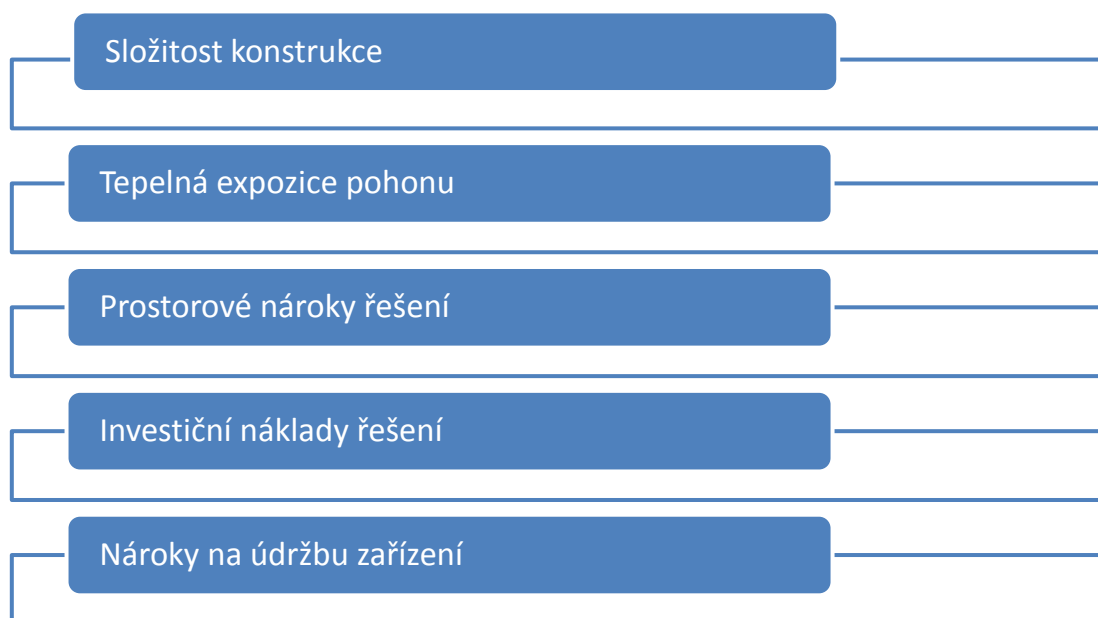
Obr. 15 - Zjednodušený model varianty D

1) pohonná jednotka 2) třecí spojka + hřídel míchadla 3) víko pece 4) pánev 5) řetězový převod



## 2.6 Rozhodovací analýza – výběr varianty pro konstrukční řešení

Pro volbu vhodného řešení homogenizačního zařízení byla použita rozhodovací analýza. Pro analýzu byla zvolena tato kritéria:



Navržené varianty řešení jsou označeny v tabulce velkými písmeny shodně s označením v kapitole 2.4. - návrh variant řešení :

### Varianta A

- pohon míchadla umístěn vertikálně nad rámem víka, osa motoru shodná s osou míchadla

### Varianta B

- pohon míchadla umístěn horizontálně na rámu víka, jedna převodovka

### Varianta C

- pohon míchadla umístěn na boční straně rámu víka, 2 převodovky

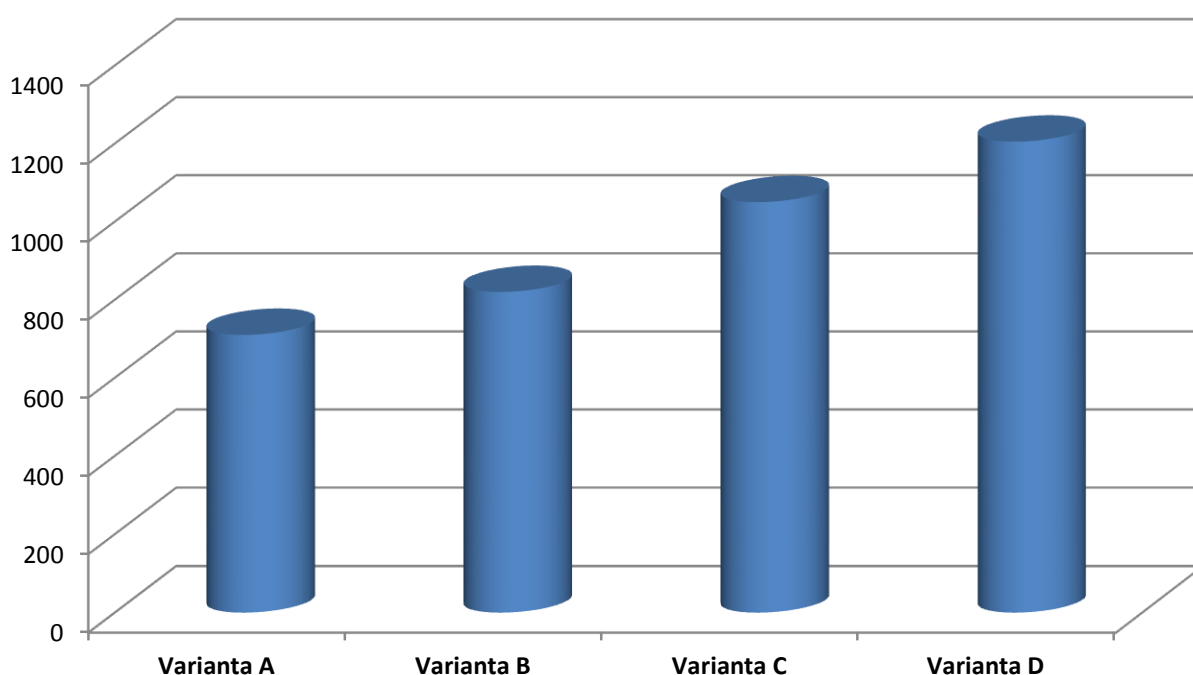
### Varianta D

- pohon míchadla umístěn na boční straně rámu víka, řetězový převod



Vzhledem k problematičnosti posuzování většího počtu kritérií současně, byla při posuzování využita metoda párového srovnání kritérií vyhodnocená pomocí Fullerova trojúhelníku. Poté byla vytvořena matice využitelnosti, ve které bylo uplatněna váha jednotlivých kritérií. Pro rozhodování bylo přihlédnuto pouze k užitným hodnotám. Souhrnné výsledky rozhodovací analýzy jsou uvedeny v tabulce č.4.. Výsledky rozhodovací analýzy mezi čtyřmi navrženými variantami řešení dle pěti výše uvedených kritérií jsou patrné z grafu č.1. Na ose Y je vynesena počet bodů získaných v matici využitelnosti jednotlivých variant.

### Hodnocení navržených variant řešení



*Graf č.1. - Výsledky rozhodovací analýzy*

Na základě výsledků rozhodovací analýzy byla pro konstrukční řešení vybrána **varianta D**.



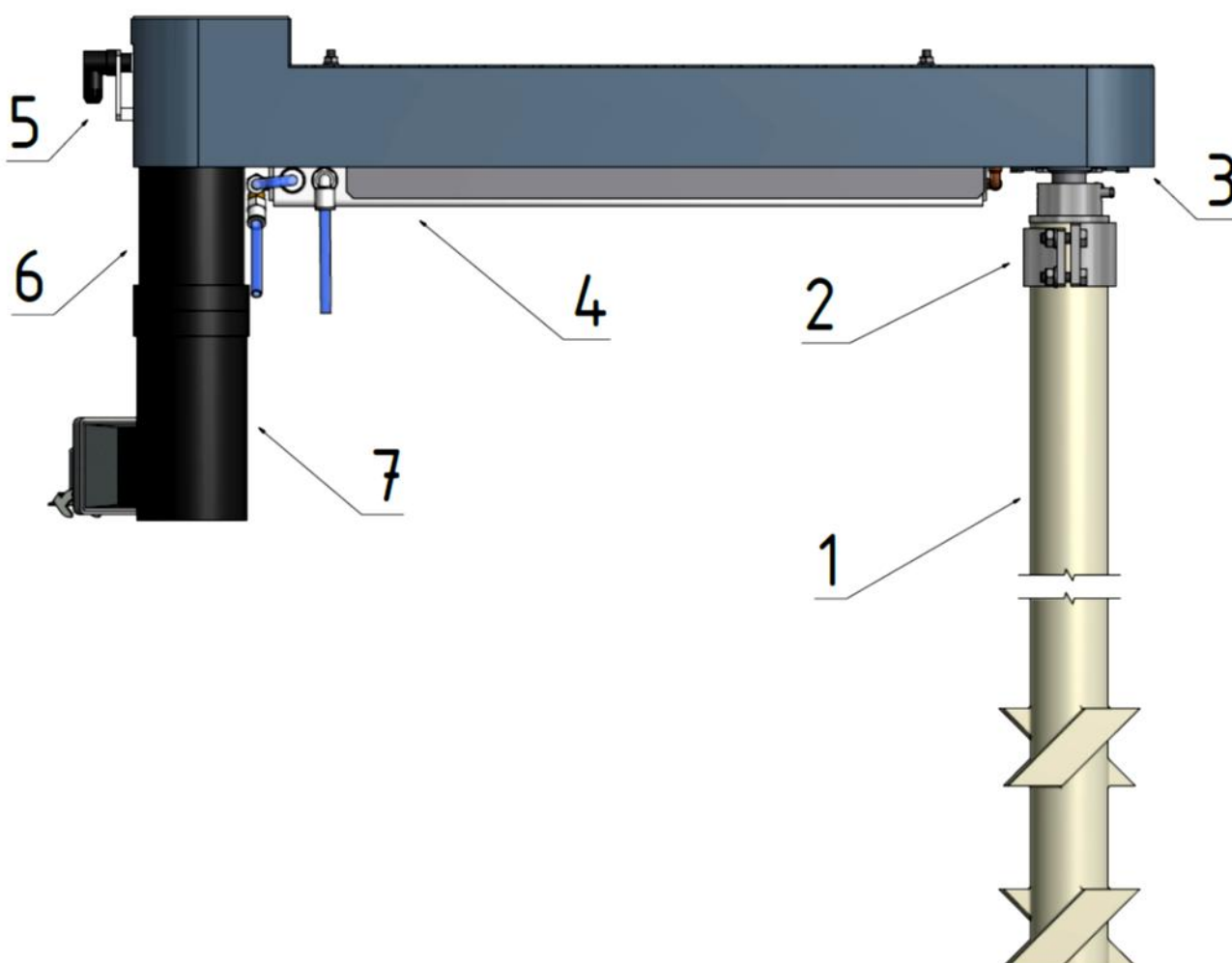
# Zařízení pro intenzivní míchání skloviny v malé pánvové peci

Párové srovnání kritérií					Matice využitelnosti jednotlivých variant									
					X		A		B		C		D	
Poř. č.	Název kritéria	Počet voleb	Pořadí významnosti	Váha	Hodnota		Hodnota		Hodnota		Hodnota		Hodnota	
					P	V	P	V	P	V	P	V	P	V
1↓	<i>Složitost konstrukce</i>	3	2	4	100	400	90	360	85	340	50	200	70	280
2↓	<i>Tepelná expozice pohonu</i>	4	1	5	100	500	10	50	20	100	90	450	90	450
3↓	<i>Prostorové nároky řešení</i>	2	3	3	100	300	20	60	50	150	100	300	100	300
4↓	<i>Investiční náklady řešení</i>	1	4	2	100	200	95	190	90	180	30	60	50	100
5↓	<i>Nároky na údržbu zařízení</i>	0	5	1	100	100	50	50	50	50	40	40	75	75
Celkem:						1500		710		820		1050		1205
Užitnost v relativním vyjádření (%):								47		55		70		80
Pořadí alternativ podle využitelnosti:								4.		3.		2.		1.
↓	Optimum je minimum													

Tab.4. - Rozhodovací analýza využitelnosti variant

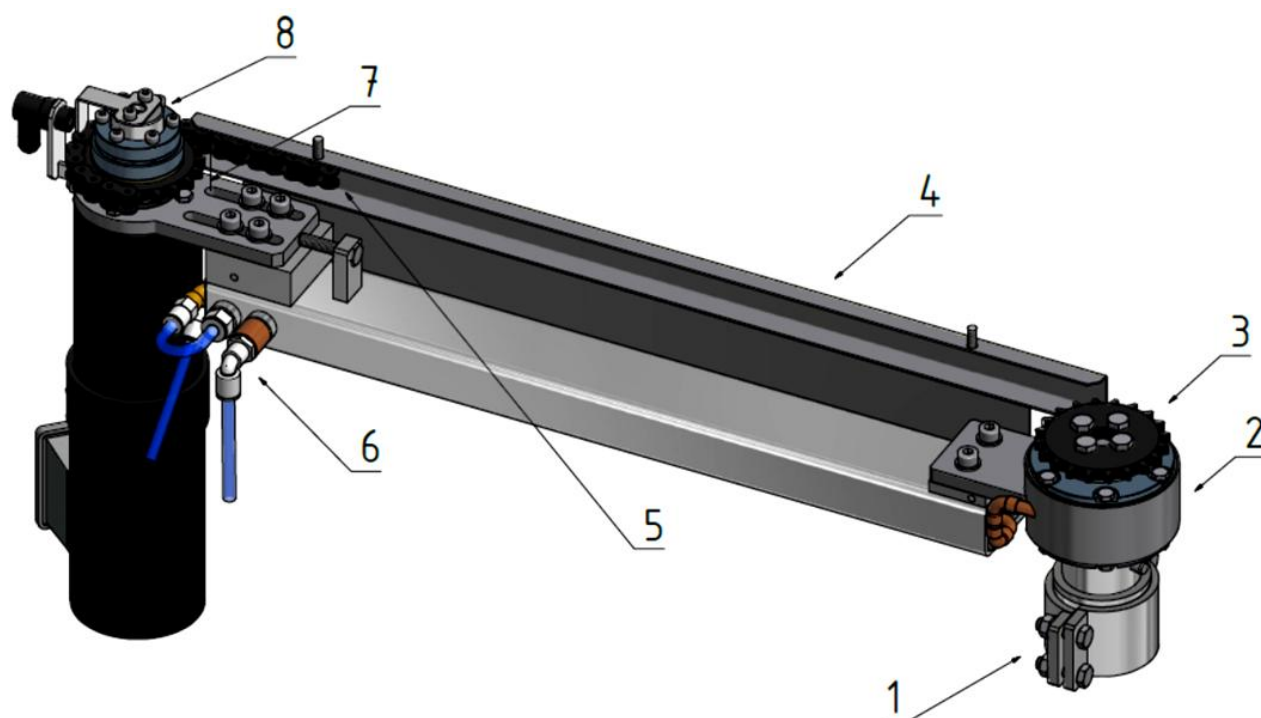
### 3. Konstrukční řešení zvolené varianty

V souladu se zadáním bakalářské práce je pro agregát MTA navržen míchací mechanismus, jehož jednotlivé části jsou patrné z obrázku č.16. Míchací mechanismus se skládá z pohonu (7) s převodovkou (6), čidla snímání otáček (5), vodou chlazeného příčnicku (4) na kterém je umístěné vedení řetězu a z hřídele osazené řetězovým kolem, ložisky a ukončené svěrnou objímkou (2) s míchadlem (1). Všechny pohyblivé části jsou zakrytovány (3).



Obr. 16 - Navržené homogenizační zařízení (celkový pohled)

- 1) Keramické míchadlo 2) objímka míchadla 3) kryt 4) chlazený příčnick 5) čidlo snímání otáček míchadla 6) převodovka 7) motor



Obr. 17 - Navržené homogenizační zařízení (celkový pohled)

- 1) objímka míchadla 2) chlazený ložiskový domeček 3) hnané řetězové kolo 4) vedení řetězu 5) řetěz 6) přívod chladicí vody z CHVO 7) hnací řetězové kolo 8) třecí spojka

Na hřídel převodovky je uchycena třecí spojka (8) s integrovaným řetězovým kolem (7). Řetěz (5) umístěný ve vedení (4) přenáší výkon na hřídel míchadla pomocí hnaného řetězového kola (3). To je spojeno s hřídelí osazené svěrnou objímkou (1) a dvěma radiálními kuličkovými ložisky uloženými v chlazeném domečku (2). Příčník i domeček ložisek (2) jsou napojeny na chladicí vodní okruh.

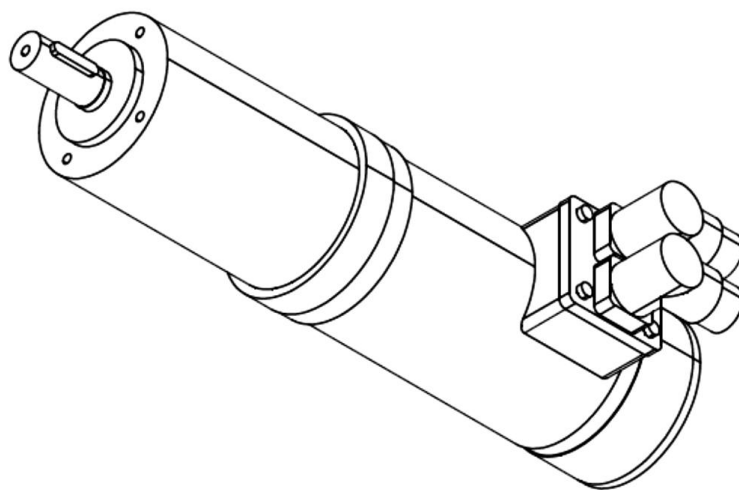
### 3.1 Návrh pohonu pro homogenizační zařízení

Pohyb míchadla je navržen pomocí motoru s integrovanou převodovkou. Pro řešení byl zvolen motor fy. Lenze. Hlavním důvodem je fakt, že motory fy. Lenze mají v hutních závodech fy. Preciosa majoritní zastoupení a proto je z hlediska servisu a kompatibility náhradních dílů vhodné využít motor od tohoto výrobce. Na základě vstupních parametrů byl vybrán pohon SPL81-3GVCR-056N22 (obr.18). Jedná se o 3-fázový asynchronní



motor s třístupňovou planetovou převodovkou. Výstupní hřídel převodovky je osazena perem dle ČSN 02 2562. Motor s převodovkou má tyto parametry:

- |                              |                                      |
|------------------------------|--------------------------------------|
| ✓ Výkon motoru               | 240 W                                |
| ✓ Otáčky motoru              | 2790 ot.min <sup>-1</sup> při 100 Hz |
| ✓ Převodový poměr            | 99,5                                 |
| ✓ Výstupní otáčky převodovky | 28 ot.min <sup>-1</sup> při 100 Hz   |
| ✓ Výstupní $M_k$ převodovky  | 56,4 Nm                              |
| ✓ Krytí                      | IP 40                                |



Obr.18 - Lenze - SPL81-3GVCR-056N22 [11]

Motor je určen pro průmyslové nasazení v teplém a prašném prostředí. Jeho konstrukce je ideální kombinací s frekvenčním měničem pro dosažení plynulé změny otáček. Potřeba změny otáček v rozsahu 2 – 30 ot.min<sup>-1</sup> je řešena nasazením frekvenčního měniče Parker 650-21115010-0F1P00-A2 od fy. Eurotherm. Frekvenční měnič je součástí ucelené řady frekvenčních měničů EURO THERM DRIVES 650 fy. Eurotherm a byl vybrán ze stejných důvodů jako motor od fy. Lenze. Měniče řady 650 jsou určeny pro jednodušší aplikace regulace rychlosti motorů. Změny otáček se docílí současnou změnou frekvence podle napětí, po dosažení jmenovitých hodnot pouze změnou frekvence. V třífázovém provedení jsou určeny pro výkony od 0,2 – 7,5 kW





při výstupní frekvenci 0 – 240 Hz. Snímání a kontrola otáček míchadla je řešeno pomocí indukčního snímače. Snímání otáček poskytuje zpětnou vazbu pro obsluhu, ta může pomocí frekvenčního měniče počet otáček upravit dle technologického předpisu v rozsahu 2 – 30 ot.min<sup>-1</sup>.

### 3.2 Návrh řetězového převodu

#### 3.2.1 Návrh řetězu

Pro přenos výkonu mezi hnací hřídelí motoru a hnanou hřídelí míchadla byl navržen řetězový převod. Hlavním důvodem je fakt, že tyto převody mohou pracovat v náročných podmínkách se zvýšenou teplotou a prašností, jsou málo náročné na údržbu a v hutním provozu jsou jejich použitím velmi dobré zkušenosti. Při návrhu bylo přihlédnuto k velikosti přenášené síly, k malé obvodové rychlosti řetězového kola a k předpokládanému bezrázovému chodu.

#### Vstupní hodnoty:

✓ Přenášený výkon	$P = 240 \text{ W}$	
✓ Požadované otáčky míchadla	$n_m = 2 - 30 \text{ min}^{-1}$	
✓ Vzdálenost os hřídelí	$a = 670 \text{ mm}$	
✓ Počet zubů hnacího kola	$z_1 = 20$	(voleno)
✓ Převodový poměr	$i = 1$	(voleno)
✓ Koeficient výkonu	$\chi = 0,88$	(voleno dle [8] )
✓ Koeficient mazání	$\mu = 0,6$	(voleno dle [8] )
✓ Koeficient provedení řetězu	$\varphi = 1$	(voleno dle [8] )
✓ Koeficient rázu	$Y = 1$	(voleno dle [8] )

#### Výpočet diagramového výkonu:

Stanovení diagramového výkonu  $P_D$  :

$$P_D = \frac{P}{\chi \cdot \mu \cdot \varphi} = \frac{240}{0,88 \cdot 0,6 \cdot 1} = 455 \text{ W} \quad (5)$$



### Volba řetězu:

Pro přenesení vypočteného  $P_D$  byl zvolen jednořadý řetěz zvolen ISO 8 B s těmito parametry:

- |                                 |                         |
|---------------------------------|-------------------------|
| ✓ Rozteč                        | $p = 12,7 \text{ mm}$   |
| ✓ Síla při přetržení            | $F_p = 17,8 \text{ kN}$ |
| ✓ Hmotnost jednoho metru řetězu | $m = 0,75 \text{ kg}$   |

### Pevnostní kontrola řetězu:

- ✓ Roztečný průměr řetězového kola

$$d_1 = d_2 = \frac{p}{\sin\left(\frac{\pi}{z_1}\right)} = \frac{12,7}{\sin\left(\frac{\pi}{20}\right)} = 81,18 \text{ mm} \quad (6)$$

- ✓ Rychlost řetězu

$$v = \pi \cdot d \cdot n = \pi \cdot 81,18 \cdot \left(\frac{30}{60}\right) = 0,128 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (7)$$

- ✓ Obvodová síla

$$F_o = \frac{P}{v} = \frac{0,24}{0,128} = 1875 \text{ N} \quad (8)$$

- ✓ Kontrola statická bezpečnosti

$$k_s = \frac{F_p}{F_o} = \frac{17800}{1875} = 9,5 > 7 \quad \text{řetěz vyhovuje} \quad (9)$$

- ✓ Kontrola dynamické bezpečnosti

$$k_d = \frac{k_s}{Y} = \frac{9,5}{1} = 9,5 > 5 \quad \text{řetěz vyhovuje} \quad (10)$$

### Počet článků řetězu:

$$j = \frac{z_1 + z_2}{2} + \left(\frac{z_2 - z_1}{2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot \frac{p}{a} + 2 \cdot \frac{a}{p} = \frac{20 + 20}{2} + \left(\frac{20 - 20}{2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot \frac{12,7}{670} + \frac{2 \cdot 670}{12,7} = 126 \quad (11)$$

Řetěz pro zvolené řešení bude mít 126 článků.

### Specifikace řetězu:

**Řetěz 126 článků 8 B – 1 ČSN 02 3311.1**

### Výpočet skutečné vzdálenosti os hřídelů:

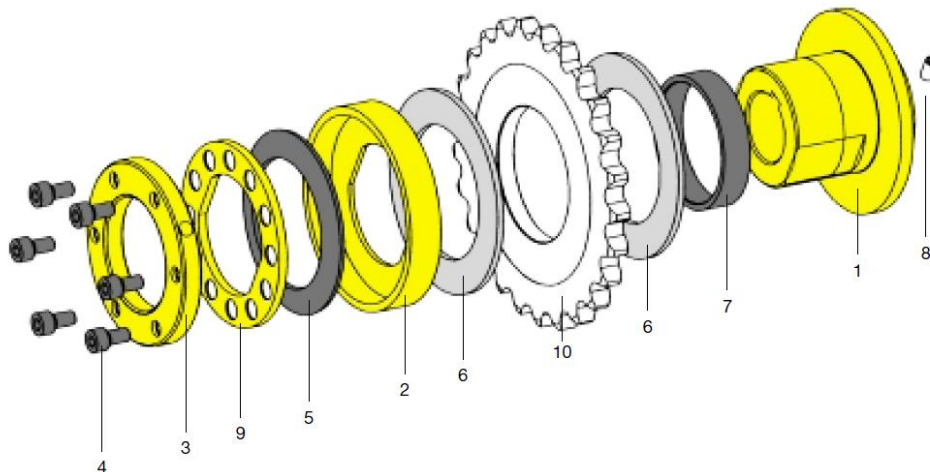
$$a^I = \frac{p}{4} \cdot \left( j - \frac{z_1 + z_2}{2} + \sqrt{\left( \left( j - \frac{z_1 + z_2}{2} \right)^2 - 2 \cdot \left( \frac{z_2 - z_1}{\pi} \right)^2 \right)} \right) =$$

$$\frac{12,7}{4} \cdot \left( 126 - \frac{20+20}{2} + \sqrt{\left( 126 - \frac{20+20}{2} \right)^2 - 0} \right) = 673,1 \text{ mm} \quad (12)$$

Skutečná vzdálenost os hřídelů bude 673,1 mm.

Řetěz je uložen ve vedení, které je napojeno na chlazený příčník a celý převod včetně řetězových kol je zakrytován. Krytování je provedeno pomocí děrovaného plechu, aby nedocházelo k zachycování a hromadění tepla unikajícího z tavicího agregátu.

Z důvodu dodržení bezpečnostních zásad při havarijních stavech (výpadek otopu, mechanická porucha), byla k omezení přenášeného krouticího momentu navržena třecí pojistná spojka RUFLEX od fy. KTR (obr. 19). Tato spojka umožňuje nastavit limit přenášeného krouticího momentu v rozmezí 10 – 70 Nm a je již od výrobce osazená řetězovým kolem a drážkou pro pero.

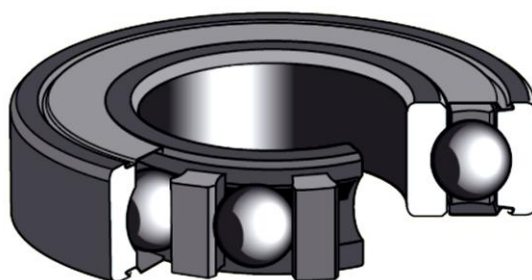


Obr. 19 - Bezpečnostní momentová spojka RUFLEX [12]

- 1) Náboj 2) přitlačný kroužek 3) stavěcí matice 4) šrouby 5) podložka 6) třecí obložení 7) kluzné ložisko 8) kolík 9) pojistná podložka 10) řetězové kolo

### 3.3 Návrh a výpočet a ložisek

Ložiska v navrženém řešení jsou vystavena značnému teplotnímu zatížení. Teplota je hlavní limitou využití ložiska a bylo nutné se na ni při konstrukci zaměřit. Běžná valivá ložiska nejsou vhodná pro uložení, která mají pracovat při extrémních teplotách nebo na něž působí velké teplotní rozdíly, jako např. v uloženíh pecních vozíků, pecí nebo dopravních systémů lakovacích linek, pro které jsou běžná valivá ložiska nevhodná. Z toho důvodu skupina SKF vyvinula speciální ložiska pro vysoké teploty. Ta jsou vybavena segmentovou grafitovou klecí a mohou pracovat při teplotách od minus 150 °C do plus 350 °C. Segmenty oddělují kuličky a rovněž zajišťují potřebné mazání. Ložiska jsou opatřena dvěma kryty, které vedou axiálně segmenty klece a brání průniku částicím nečistot do ložiska. Nepatrné množství grafitového prášku, který vzniká otěrem při otáčení ložiska, zajišťuje dostatečné mazání ložiska. Další předností těchto ložisek je jejich ekologičnost, neboť ani při nejvyšších teplotách zde nevznikají nebezpečné plyny a páry.



Obr.20 - Ložisko SKF Provedení 2Z/VA208 pro vysoké nároky [14]

#### 3.3.1 Návrh a uložení ložisek

Na příčnicku je v ose pánve umístěn vodou chlazený ložiskový domeček, ve kterém je hřídel s ložisky uložena. S přihlédnutím ke konstrukci zařízení jsou navržena ložiska 6306 ČSN 02 4630. Na základě předchozích zkušeností byla vybrána speciální ložiska do vyšších teplot 6306-2Z/VA208 od firmy SKF. Tato ložiska jsou charakteristická velkou radiální vnitřní vůlí a speciální grafitovou klecí. Vůle je čtyřikrát větší než u standardních ložisek a zabraňuje zadření ložiska při velkých změnách teplot. Všechny plochy ložiska jsou opatřeny vrstvou fosforečnanu manganu, tím je zajištěna ochrana proti korozi a zároveň jsou zlepšeny funkční vlastnosti.

Příčník spolu s ložiskovým domečkem jsou pomocí polyuretanové hadičky napojeny na centrální systém chladicího vodního okruhu. Ten pracuje s teplotní diferencí 40 – 60°C a zaručuje bezpečné ochlazení ložisek a vedení řetězového převodu na přijatelnou provozní teplotu.



### 3.3.2 Výpočet ložisek

#### Vstupní hodnoty:

✓ Vnitřní průměr ložiska	$d = 30 \text{ mm}$	
✓ Krouticí moment	$M_k = 56,4 \text{ N.m}$	
✓ Roztečný průměr řetězového kola	$D = 81,18 \text{ mm}$	
✓ Hmotnost míchadla	$m = 10 \text{ kg}$	
✓ Otáčky míchadla	$n_m = 30 \text{ min}^{-1}$	
✓ Převodový poměr	$i = 1$	
✓ Dynamická únosnost ložiska	$C = 22,8 \text{ kN}$	(pro zvolené ložisko)
✓ Statická únosnost ložiska	$C_o = 15,6 \text{ kN}$	(pro zvolené ložisko)
✓ Exponent rovnice trvanlivosti	$\mu = 3$	(pro zvolené ložisko)

#### Výpočet ložiska:

- ✓ Radiální síla

$$F_r = \frac{M_k}{R} = \frac{56,4}{0,04059} = 1390 \text{ N} \quad (13)$$

- ✓ Axiální síla

$$F_a = m \cdot g = 10 \cdot 9,81 = 98,1 \text{ N} \quad (14)$$

- ✓ Dynamické ekvivalentní zatížení

$$\frac{F_a}{C_o} = \frac{98,1}{15600} = 0,0063 \Rightarrow e = 0,22 \quad (15)$$

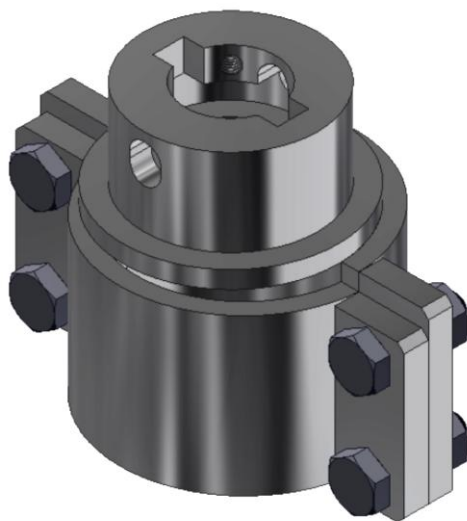
$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \Rightarrow F_e = F_r = 1390 \text{ N} \quad (16)$$

- ✓ Základní trvanlivost v provozních hodinách

$$L_{HZ} = \left( \frac{C}{F_e} \right)^\mu \cdot \frac{10^6 \cdot i}{3600 \cdot n_m} = \left( \frac{22800}{1390} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{3600 \cdot 30} = 40\,864 \text{ hodin} \quad (17)$$

### 3.4 Návrh uchycení míchadla

Uchycení míchadla je navrženo pomocí svěrné objímky (obrázek č. 21). Konec hřídele keramického míchadla je obalen minerálním papírem a vložen do objímky, kde je sevřen pomocí šroubového spoje. Na volném konci hřídele ložiskového domečku je příčně vložen kolík (ČSN EN ISO 2338), který slouží k přichycení svěrné objímky s míchadlem. Uchycení objímky na hřídel ložiskového domečku je navrženo nasunutím přes bajonetovou drážku. Po nasunutí se objímka s míchadlem zajistí pojistným šroubem M6. Tento způsob uchycení řeší výměnu míchadla za provozu pece bez nutnosti demontáže celého homogenizačního zařízení, nebo jeho části.



Obr.21 - Objímka pro uchycení míchadla

Svěrná objímka je na horním konci doplněna clonou z materiálu 17 255 (pozice 4, sestava č. 3-BP S09000477-1-05-00). Ta slouží k odstínění radiálního tepla sálajícího z oblasti pánve od chlazeného ložiskového domečku. Tímto je zvýšena jistota eliminace tepelného zatížení té části homogenizačního zařízení, která se nachází přímo nad otvorem do pánvového agregátu.

#### 3.4.1 Výpočet kolíku zatíženého krouticím momentem

##### Vstupní hodnoty:

- |                               |                          |
|-------------------------------|--------------------------|
| ✓ Krouticí moment             | $M_k = 56,4 \text{ N.m}$ |
| ✓ Průměr hřídele lož. domečku | $D = 26 \text{ mm}$      |
| ✓ Průměr kolíku               | $d = 8 \text{ mm}$       |



- ✓ Dovolené napětí ve smyku  $\tau_{Ds} = 60 \text{ MPa}$
- ✓ Dovolené napětí v krutu  $\tau_{Dk} = 48 \text{ MPa}$
- ✓ Dovolný tlak v hřídeli  $p_D = 80 \text{ Mpa}$

**Výpočet :**

- ✓ *Napětí ve smyku*

$$\tau_s = \frac{4 \cdot M_k}{\pi \cdot d^2 \cdot D} = \frac{4 \cdot 56,4}{\pi \cdot 0,008^2 \cdot 0,026} = 43,2 \text{ MPa} \quad (18)$$

$$\tau_s \leq \tau_{Ds} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- ✓ *Napětí v krutu*

$$\tau_k = \frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot D^3 \cdot (1 - 0,9 \cdot d/D)} = \frac{16 \cdot 56,4}{\pi \cdot 0,026^3 \cdot (1 - 0,9 \cdot 0,008/0,026)} = 22,6 \text{ MPa} \quad (19)$$

$$\tau_k \leq \tau_{Dk} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- ✓ *Tlak v hřídeli*

$$p_h = \frac{6 \cdot M_k}{D^2 \cdot d} = \frac{6 \cdot 56,4}{0,026^2 \cdot 0,008} = 62,6 \text{ MPa} \quad (20)$$

$$p_h \leq p_D \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Zvolený kolík pro navrhovanou aplikaci vyhovuje.



## 4. Závěry a zhodnocení využitelnosti

V této kapitole je provedeno zhodnocení technicko-ekonomických přínosů řešení a jsou zde specifikovány závěry řešení bakalářské práce.

### 4.1.1 *Zhodnocení technických a ekonomických přínosů řešení*

- ✓ V rámci řešení bakalářské práce se podařilo navrhnout a zkonstruovat homogenizační zařízení pro intenzivní míchání skloviny.
- ✓ Navržená konstrukce, využívající řetězového převodu, dává předpoklad bezproblémového užívání v náročných podmínkách sklářského provozu.
- ✓ S využitím možností fyzikálního modelování byl navržen optimální tvar keramického míchadla.
- ✓ Výrobní náklady navrhovaného řešení se pohybují mezi 50 – 60 000,- Kč.
- ✓ Na základě dosavadních zkušeností s provozem pánvových pecí a zkušeností z provozem MTA lze konstatovat, že instalací a provozováním navrženého homogenizačního zařízení na prototypu MTA dojde ke zvýšení výtěžnosti z utavené skloviny minimálně o 20%.

### 4.1.2 *Závěry řešení*

- ✓ V souladu se zadáním bakalářské práce byl proveden rozbor stávajícího výrobního procesu. Byla provedena literární a patentová rešerše a stanoveny základní technické podmínky pro návrh řešení intenzivního míchání skloviny v malé pánvové peci.
- ✓ Byl proveden teoretický rozbor možností homogenizace a jako nejvhodnější byla vybrána metoda strojního míchání vrtulovým míchadlem. Tato metoda dává nejlepší předpoklady pro dosažení požadované vnitřní kvality produkovaných výlisků.
- ✓ Byly provedeny základní výpočty, měření a experimenty potřebné k návrhu využitelných technických řešení a byly navrženy alternativy homogenizačního zařízení.
- ✓ Na základě rozhodovací analýzy byla vybrána varianta D, která využívá k přenosu výkonu z motoru na míchadlo řetězový převod. Tato varianta byla podrobně zpracována a byla vyhotovena kompletní výrobní dokumentace.





## Seznam použité literatury:

- [1] BARTUŠKA, M. *Vady skla*. Praha: Práh, 2001. 606 s. ISBN 80-7252-043-1
- [2] LITERA, J. – STLOUKAL, T. *Průběžná zpráva úkolu MTA*. Interní zpráva fy. Preciosa. Jablonec nad Nisou: 2011
- [3] VOLF, M.B. *Chemie skla*. Praha: SNTL, 1978. 470 s.
- [4] SÜSSER, V. - FANDERLIK, I. *Homogenizace skla v pánvích*. Informativní přehled SVÚS 1960-. Hradec Králové: 1961. 27 s.
- [5] SMRČEK, A. a kol. *Tavení skla*. Jablonec nad Nisou: Česká sklářská společnost o.s., 2008. 696 s. ISBN 978-80-904044-0-3
- [6] RIEGER, F. a kol. *Hydromechanické procesy II*. Skriptum ČVÚT. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVÚT, 2005. 167 s. ISBN 80-01-03302-3
- [7] KOUCKÝ, J. *Kameny, ověsy, perle*. Interní skriptum fy. Preciosa. Jablonec nad Nisou: 2001. 1. vydání. 266 s.
- [8] KŘÍŽ, R. - VÁVRA, P. *Strojírenská příručka (svazek 6)*. Praha: SCIENTIA, spol.s.r.o., 1995. 291 s. ISBN 80-85827-88-3
- [9] PEŠÍK, L. *Části strojů ( 2.díl)*. Skriptum TUL. Liberec: 2010. 236 s. ISBN 978-80-7372-574-7
- [10] ŘASA, J. - ŠVERCL, J. *Strojnické tabulky 1*. Praha: Scientia, 2004. 753 s. ISBN 80-7183-312-6
- [11] *Katalog produktů Lenze*. (nedatováno). Získáno říjen 2011.  
[http://web.lenze.de/lenze.de\\_de\\_active/040\\_Services/055\\_Product\\_information/Produktinformationen.de.jsp?cid=0b0164e08035d2bb](http://web.lenze.de/lenze.de_de_active/040_Services/055_Product_information/Produktinformationen.de.jsp?cid=0b0164e08035d2bb)
- [12] *Katalog spojek Rulflex*. (nedatováno). Získáno listopad 2011.  
<http://www.ktr.com/de/drehmomentbegrenzer/rulflex/standard.htm>
- [13] *SSD Drives*. (nedatováno), Získáno leden 2012.  
[http://data.etherm.cz/ssddrives\\_stridave.htm](http://data.etherm.cz/ssddrives_stridave.htm)
- [14] *Ložiska a ložiskové jednotky pro vysoké teploty*. (nedatováno). Katalog fy. SKF. Získáno leden 2012. <http://www.skf.com/files/516003.pdf>



## Seznam výkresové dokumentace:

0-BP S09000477-1-00-00  
1-BP S09000477-1-01-00  
2-BP S09000477-1-04-00  
2-BP S09000477-1-07-00  
3-BP S09000477-1-00-10  
3-BP S09000477-1-00-11  
3-BP S09000477-1-00-13  
3-BP S09000477-1-00-14  
3-BP S09000477-1-02-00  
3-BP S09000477-1-03-00  
3-BP S09000477-1-05-00  
3-BP S09000477-1-05-01  
4-BP S09000477-1-00-09  
4-BP S09000477-1-00-12  
4-BP S09000477-1-00-15  
4-BP S09000477-1-00-18  
4-BP S09000477-1-01-01  
4-BP S09000477-1-01-02  
4-BP S09000477-1-01-03  
4-BP S09000477-1-01-04  
4-BP S09000477-1-01-05  
4-BP S09000477-1-01-06  
4-BP S09000477-1-01-07  
4-BP S09000477-1-01-08  
4-BP S09000477-1-01-09  
4-BP S09000477-1-01-10  
4-BP S09000477-1-02-01  
4-BP S09000477-1-02-02  
4-BP S09000477-1-02-03  
4-BP S09000477-1-04-01  
4-BP S09000477-1-04-02  
4-BP S09000477-1-04-03  
4-BP S09000477-1-04-04  
4-BP S09000477-1-04-05  
4-BP S09000477-1-04-06  
4-BP S09000477-1-05-02  
4-BP S09000477-1-05-03  
4-BP S09000477-1-05-04



4-BP S09000477-1-06-00  
4-BP S09000477-1-06-01  
4-BP S09000477-1-06-02  
4-BP S09000477-1-07-01  
4-BP S09000477-1-07-02  
4-BP S09000477-1-07-03  
4-BP S09000477-1-07-04  
4-BP S09000477-1-08-00  
4-BP S09000477-1-08-01  
4-BP S09000477-1-08-02  
4-BP S09000477-1-08-03